



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISA KEANDALAN SEPINGGAN P *FIXED OFFSHORE*
STRUCTURE TERHADAP KELELAHAN DAN PERPANJANGAN
UMUR OPERASI

RISKIYA RAHMAWATI
NRP. 4313100138

Dosen pembimbing
Prof.Ir.Daniel M Rosyid, Ph.D
Murdjito, M.Sc.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



FINAL PROJECT - MO 141326

RELIABILITY ANALYSIS OF SEPINGGAN P FIXED OFFSHORE
STRUCTURE DUE TO FATIGUE AND SERVICE LIFE EXTENSION

RISKIYA RAHMAWATI

NRP. 4313100138

Supervisors

Prof.Ir.Daniel M Rosyid, Ph.D

Murdjito, M.Sc.Eng

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

**ANALISA KEANDALAN SEPINGGAN P *FIXED OFFSHORE*
STRUCTURE TERHADAP KELELAHAN DAN PERPANJANGAN UMUR
OPERASI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RISKIYA RAHMAWATI

NRP. 4313 100 138

Disetujui oleh:

1. Prof.Ir.Daniel M Rosyid Ph.D.  (Pembimbing 1)

2. Murdjito, M.Sc.Eng  (Pembimbing 2)

3. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D.  (Penguji 1)

4. Agro Wisudawan ST.MT  (Penguji 2)

SURABAYA, JULI 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA KEANDALAN SEPINGGAN P *FIXED OFFSHORE*
STRUCTURE TERHADAP BEBAN KELELAHAN DAN
PERPANJANGAN UMUR OPERASI**

Nama Mahasiswa : Riskiya Rahmawati
NRP : 4313 100 138
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D
Murdjito, M.Sc.Eng

ABSTRAK

Dalam penelitian ini dibahas analisa keandalan terhadap beban kelelahan pada konstruksi *jacket platform* dengan mempertimbangkan korosi. *Jacket platform* Sepinggaan P yang beroperasi di perairan Kalimantan Timur dengan umur design 30 tahun diambil sebagai obyek dalam penelitian. Analisa kelelahan akibat beban dinamis dan gelombang dihitung dengan metode full spectral fatigue analysis, sedangkan analisa keandalan menggunakan simulasi Monte Carlo pada *tubular joint* yang memiliki *service life* terendah. Analisa tanpa mempertimbangkan korosi menunjukkan *service life* terendah sebesar 61,5 tahun, sehingga masih diijinkan beroperasi untuk beberapa tahun mendatang setelah *design life* tercapai. Dengan mempertimbangkan timbulnya korosi, fatigue damage terbesar sekaligus *service life* terendah terjadi pada joint 4101 pada korosi 1/8 in di daerah *jacket*, dengan *fatigue damage* sebesar 0,8665 dan *service life* 31,269 tahun dengan faktor 2, serta keandalan sebesar 0,95322. Batas kondisi korosi yang bisa diterima adalah korosi pada daerah *splash zone* tidak melebihi 1/16 in atau korosi pada daerah *jacket* tidak melebihi 1/32 in, karena indeks keandalan pada kondisi tersebut masih diatas 2,0.

Kata kunci : *Fatigue Damage*, Keandalan, *Monte Carlo*, *Spectral Fatigue Analysis*, Variasi Korosi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RELIABILITY ANALYSIS OF SEPINGGAN P FIXED OFFSHORE STRUCTURE DUE TO FATIGUE AND SERVICE LIFE EXTENSION

Name : Riskiya Rahmawati
NRP : 4313 100 138
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D
Murdjito, M.Sc.Eng

ABSTRACT

In this research, the reliability analysis of fatigue load in jacket platform construction was discussed by considering the corrosion variations. The object of this research was Sepinggan P Jacket Platform which operated in East Kalimantan sea with 30 years of design life. Fatigue analysis caused by dynamic load and wave is calculated using full spectral fatigue analysis. Furthermore, the Monte Carlo simulation is used to analyze the reliability of tubular joints which has the lowest service life. The analysis of the condition without considering the corrosion shows the lowest service life is 61,5 years; then it is allowable to be operated for next few years after design life passed. By considering the corrosion condition, the highest fatigue damage also the lowest service life has occurred on joint 4101 with a 1/8 inch corrosion in jacket area, fatigue damage 0,8665 and service life is 31,269 years with safety factor 2. Moreover, the reliability is 0,95322. Acceptable safe corrosion limits for the structure are; corrosion in splash zone area less than 1/16 inch, or corrosion in jacket area less than 1/32 inch since the reliability index in these conditions is still above 2,0.

Keywords : Fatigue Damage, Reliability, Monte Carlo, Spectral Fatigue Analysis, Corrosion Variation.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, hidayah dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisa Keandalan Sepinggan P *Fixed Offshore Structure* Terhadap Beban Kelelahan dan Perpanjangan Umur Operasi”. Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dengan Tugas Akhir ini, diharapkan dapat dipakai sebagai salah satu acuan dalam melakukan analisa keandalan terhadap kelelahan pada struktur jacket dengan mempertimbangkan korosi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan sebagai penyempurnaan untuk penulisan selanjutnya. Besar harapan penulis semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2017

Riskiya Rahmawati

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses pengerjaan dan penyusunan laporan ini, penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini pula, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa dan Kuasa yang telah memberikan kehendak dan kuasa-Nya dalam bentuk terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik dan tanpa suatu halangan apapun yang berarti, sehingga memberikan kesempatan kepada penulis untuk berbagi kebermanfaatan melalui tugas akhir ini.
2. Keluarga yang selalu memberi dukungan fisik dan spiritual hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
3. Prof. Ir. Daniel M Rosyid. Ph.D dan Murdjito M.Sc.Eng selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah merelakan waktu di sela-sela kesibukannya untuk membimbing penulis dengan sabar sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan maksimal.
4. Yuni Ari Wibowo ST.MT, Ariefa Yahya ST dan Muhammad Ramzi ST yang telah memberikan pelatihan, pengarahan serta berbagi ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman-teman AKS yang telah menjadi teman seperjuangan bersama penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Sekali lagi penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan yang telah diberikan oleh pihak-pihak yang sudah penulis sebutkan di atas, dan semoga mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Surabaya, Juli 2017

Riskiyya Rahmawati

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | v |
| KATA PENGANTAR | vii |
| UCAPAN TERIMA KASIH | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR GRAFIK | xv |
| DAFTAR NOTASI | xvi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB II DASAR TEORI | 7 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 7 |
| 2.2 Dasat Teori | 9 |
| 2.2.1 <i>Fixed Offshore Structure</i> | 9 |
| 2.2.2 Konsep Pembebanan | 10 |
| 2.2.2.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>) | 11 |
| 2.2.2.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>) | 11 |
| 2.2.2.3 Beban Akibat Kecelakaan (<i>Accidental Loads</i>) | 11 |
| 2.2.2.4 Beban Lingkungan (<i>Environmetal Loads</i>) | 12 |

| | | |
|-------------------------------------|--|----|
| 2.2.3 | <i>Analisis Fatigue</i> | 12 |
| 2.2.3.1 | <i>Metode Spectral</i> | 14 |
| 2.2.4 | <i>Tubular Joint</i> | 14 |
| 2.2.5 | <i>Tegangan Hot Spot</i> | 16 |
| 2.2.6 | <i>Stress Concentration Factor (SCF)</i> | 17 |
| 2.2.7 | <i>Analisa Umur Kelelahan</i> | 18 |
| 2.2.8 | <i>Metode Palmgren-Miner</i> | 19 |
| 2.2.9 | <i>Closed-Form Fatigue Equation</i> | 19 |
| 2.2.10 | <i>Korosi</i> | 21 |
| 2.2.10.1 | <i>Jenis Koroai</i> | 21 |
| 2.2.10.2 | <i>Laju Korosi</i> | 23 |
| 2.2.10.3 | <i>Dampak Korosi</i> | 23 |
| 2.2.11 | <i>Analisis Keandalan</i> | 23 |
| 2.2.11.1 | <i>Keandalan Pada Sistem Rekayasa</i> | 23 |
| 2.2.11.2 | <i>Safety Margin (Margin Keamanan)</i> | 25 |
| 2.2.11.3 | <i>Moda Kegagalan</i> | 26 |
| 2.2.11.4 | <i>Simulasi Monte Carlo</i> | 27 |
| 2.2.11.5 | <i>Probability of Failure (PoF)</i> | 29 |
| 2.2.11.6 | <i>Indeks Keandalan</i> | 29 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 31 |
| 3.1 | <i>Diagram Alir Penelitian Umum</i> | 31 |
| 3.2 | <i>Prosedur Penelitian</i> | 33 |
| 3.3 | <i>Pengumpulan Data</i> | 36 |
| 3.3.1 | <i>Data Struktur</i> | 36 |
| 3.3.2 | <i>Data Lingkungan</i> | 37 |
| 3.3.2.1 | <i>Data Muka Air Rata-Rata</i> | 37 |
| 3.3.2.2 | <i>Data Kecepatan Angin</i> | 37 |
| 3.3.2.3 | <i>Data Gelombang</i> | 37 |
| 3.3.2.3.1 | <i>Data Desain Gelombang</i> | 37 |
| 3.3.2.3.2 | <i>Data Sebaran Gelombang</i> | 38 |
| 3.3.2.4 | <i>Koefisien Hidrodinamis</i> | 39 |

| | |
|--|--------|
| 3.3.2.5 <i>Marine Growth</i> | 40 |
| 3.3.3 <i>Splash Zone</i> | 40 |
| 3.3.4 <i>Material Properties</i> | 40 |
| 3.3.5 Acuan pada SACS 5.7 | 41 |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN | 41 |
| 4.1 Pemodelan | 41 |
| 4.1.1 Pemodelan Struktur Sepinggian <i>P Platform</i> | 41 |
| 4.1.2 Pemodelan Struktur Sepinggian <i>P Platform</i> dengan Pemberian Korosi | 42 |
| 4.2 Validasi Model | 47 |
| 4.3 Penentuan Sambungan (<i>Joint</i>) Kritis | 47 |
| 4.4 Analisis <i>Fatigue</i> | 47 |
| 4.4.1 Periode Natural Struktur | 48 |
| 4.4.2 <i>Stress Concentration Factors</i> | 49 |
| 4.4.3 <i>Fatigue Damage</i> | 52 |
| 4.5 Analisis Keandalan | 58 |
| 4.5.1 Moda Kegagalan | 58 |
| 4.5.2 Variabel Acak | 59 |
| 4.5.2.1 <i>Fatigue Limit</i> | 60 |
| 4.5.2.2 Jumlah Siklus | 60 |
| 4.5.2.3 Tegangan Ekstrem | 60 |
| 4.5.2.4 Kurva S-N | 61 |
| 4.5.2.5 Parameter Weibull | 61 |
| 4.5.2.6 <i>Mean</i> dan Standar Deviasi Variabel Acak | 64 |
| 4.5.3 Simulasi Monte Carlo | 66 |
| 4.5.4 Keandalan dan Peluang Kegagalan | 67 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 73 |
| 5.1 Kesimpulan | 73 |
| 5.2 Saran | 74 |

| | |
|----------------------|----|
| DAFTAR PUSTAKA | 75 |
| LAMPIRAN | |
| BIODATA PENULIS | |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 3.1 | Data Muka Air Rata-Rata | 37 |
| Tabel 3.2 | Data Angin | 37 |
| Tabel 3.3 | Data Gelombang | 38 |
| Tabel 3.4 | Data Sebaran Gelombang untuk Semua Tahun | 38 |
| Tabel 3.5 | Data Koefisien Hidrodinamis | 39 |
| Tabel 3.6 | Data <i>Marine Growth</i> | 40 |
| Tabel 4.1 | Group Member pada Daerah <i>Splash Zone</i> | 46 |
| Tabel 4.2 | Group Member pada Bagian <i>Jacket</i> | 46 |
| Tabel 4.3 | Hasil Validasi <i>Selfweight</i> dan Periode Natural | 47 |
| Tabel 4.4 | Periode Natural dari Setiap Variasi Korosi | 48 |
| Tabel 4.5 | Hasil Analisa Parameter Turunan <i>Joint</i> 4101 pada Setiap Variasi Korosi | 51 |
| Tabel 4.6 | <i>Fatigue Damage</i> dan <i>Service Life</i> (Tanpa Korosi) | 52 |
| Tabel 4.7 | <i>Fatigue Damage</i> dan <i>Service Life</i> pada Korosi Daerah <i>Jacket</i> | 53 |
| Tabel 4.8 | <i>Fatigue Damage</i> dan <i>Service Life</i> pada Korosi Daerah <i>Splash Zone</i> | 53 |
| Tabel 4.9 | Parameter Moda Kegagalan | 60 |
| Tabel 4.10 | Tegangan Ekstrim pada Setiap Variasi Korosi | 61 |
| Tabel 4.11 | Perhitungan Iteratif Parameter Weibull | 63 |
| Tabel 4.12 | Parameter Weibull pada Setiap Variasi Korosi | 64 |
| Tabel 4.13 | Data Input Formulasi Moda Kegagalan pada Kondisi Tanpa Korosi pada Variabel Distribusi Normal | 65 |
| Tabel 4.14 | Data Input Formulasi Moda Kegagalan pada Kondisi Tanpa Korosi pada Variabel Distribusi Lognormal | 65 |
| Tabel 4.15 | Variabel-variabel yang Sudah Disimulasikan dengan <i>Random Number</i> | 66 |
| Tabel 4.16 | Keandalan dan PoF dari setiap Variasi Korosi | 68 |
| Tabel 4.17 | Indeks Keandalan pada <i>Joint</i> 4101 | 70 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 1.1 | <i>Drawing Sepinggan P</i> | 3 |
| Gambar 2.1 | <i>Fixed Platfom</i> (Chakrabarti dkk., 2005) | 10 |
| Gambar 2.2. | Beberapa Tipe <i>Fluctuating Stress</i> | 12 |
| Gambar 2.3 | Daerah Sambungan (<i>Joint</i>) | 15 |
| Gambar 2.4 | Kurva S-N (API RP 2A) | 16 |
| Gambar 2.5 | Fungsi Kerapatan Peluang (fkp) dari Kapasitas X dan Tuntutan Y | 24 |
| Gambar 2.6 | Fungsi Distribusi Komulatif dan Fungsi Kerapatan Peluang pada Angka Keamanan $Z=X/Y$ | 25 |
| Gambar 2.7 | fkp untuk Batas Margin S | 26 |
| Gambar 2.8 | Deskripsi <i>Probability of Failure</i> (DNV RP- G101) | 29 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir | 31 |
| Gambar 3.2 | Algoritma Tipikal Untuk Simulasi Monte Carlo | 35 |
| Gambar 3.3 | Arah Gelombang | 39 |
| Gambar 4.1 | Struktur Sepinggan P <i>Platform</i> | 43 |
| Gambar 4.2 | Tampak Atas Struktur Sepinggan P | 44 |
| Gambar 4.3 | Letak Pemberian Variasi Korosi pada Sepinggan P | 45 |
| Gambar 4.4 | <i>Validity Range of Parameter Efthymiou Equation</i> | 50 |
| Gambar 4.5 | Parameter <i>Tubular Joint</i> | 51 |
| Gambar 4.6 | Letak Member Terkritis pada Struktur Sepinggan P | 56 |
| Gambar 4.7 | Letak <i>Joint</i> 4101 | 57 |
| Gambar 4.8 | Letak <i>Joint</i> 3101 | 57 |
| Gambar 4.9 | Letak <i>Joint</i> 478 | 58 |
| Gambar 4.10 | Grafik Perhitungan Parameter Weibull (ξ) | 62 |

DAFTAR GRAFIK

| | | |
|------------|--|----|
| Grafik 4.1 | Pengaruh Variasi Penambahan Korosi terhadap Periode Natural di Daerah <i>Jacket</i> dan <i>Splash Zone</i> | 49 |
| Grafik 4.2 | Pengaruh Penambahan Korosi terhadap <i>Service Life</i> pada <i>Joint</i> 4101 | 54 |
| Grafik 4.3 | Pengaruh Penambahan Korosi terhadap <i>Service Life</i> pada <i>Joint</i> 3101 | 55 |
| Grafik 4.4 | Pengaruh Penambahan Korosi terhadap <i>Service Life</i> pada <i>Joint</i> 478 | 55 |
| Grafik 4.5 | Pengaruh Penambahan Korosi Terhadap Keandalan pada <i>Joint</i> 4101 | 69 |
| Grafik 4.6 | Pengaruh Penambahan Korosi Terhadap Keandalan pada <i>Joint</i> 3101 | 69 |
| Grafik 4.7 | Pengaruh Penambahan Korosi Terhadap Keandalan pada <i>Joint</i> 478 | 70 |
| Grafik 4.8 | Hubungan Korosi pada Daerah <i>Splash Zone</i> Terhadap <i>Fatigue Damage</i> dan Indeks Keandalan | 71 |
| Grafik 4.9 | Hubungan Korosi pada Daerah <i>Jacket</i> Terhadap <i>Fatigue Damage</i> dan Indeks Keandalan | 72 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|----------------------|--|
| A | <i>Intercept</i> dari kurva S-N, luas penampang potongan batang yang dibebani. |
| Cd | Koefisien <i>drag</i> untuk <i>Chord</i> . |
| Cm | Koefisien inersia untuk <i>Chord</i> . |
| D | <i>Fatigue damage</i> |
| d | Kedalaman perairan. |
| E | Modulus elastisitas bahan. |
| H | Tinggi gelombang. |
| L | Variabel Beban. |
| M | Kemiringan kurva S-N. |
| N | Jumlah siklus beban hingga gagal. |
| N _I | Jumlah <i>cycle</i> untuk gagal pada perhitungan tegangan yang sama. |
| n _i | Jumlah <i>cycle</i> kolom interval rentangan tegangan. |
| n ₀ | Jumlah siklus total sebenarnya. |
| OD | <i>Outer Diameter</i> . |
| Pof | Peluang kegagalan. |
| S | Rentang tegangan, variabel kekuatan. |
| SCF | <i>Stress concentration factor</i> . |
| S _e | Tegangan ekstrem. |
| S _{nominal} | Tegangan nominal. |
| T | Periode gelombang. |
| t | Waktu. |
| WT | <i>Wall Thickness</i> . |
| β | Indeks keandalan. |

| | |
|-------------|--|
| Δ | Kerusakan dimana terjadi kegagalan akibat kelelahan. |
| ξ | Parameter bentuk distribusi Weibull. |
| $\Gamma(x)$ | Fungsi gamma. |
| μ_s | Nilai rata-rata margin keamanan. |
| σ | Tegangan. |
| σ_s | Simpangan baku margin keselamatan. |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|------------|--|
| LAMPIRAN A | Perubahan OD dan WT pada Setiap Pemberian Korosi |
| LAMPIRAN B | <i>Output</i> Periode Natural pada SACS 5.7 |
| LAMPIRAN C | <i>Output Fatigue Damage</i> dan <i>Service Life</i> |
| LAMPIRAN D | Iterasi Parameter Weibull |
| LAMPIRAN E | Simulasi Monte Carlo |

BAB 1

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu penghasil minyak bumi dan gas alam yang mempunyai ratusan anjungan lepas pantai yang tersebar diseluruh wilayah perairan Indonesia. Sebagian besar dari anjungan lepas pantai yang ada, umumnya berjenis tetap (*fixed offshore platform*). (Tawekal, 2004)

Bangunan lepas pantai membutuhkan disiplin ilmu yang kompleks baik dari segi perancangan, pembangunan dan perawatan. Hal ini dilakukan demi mempertahankan keandalan dari struktur tersebut (ISO 19902, 2007). Dengan demikian suatu sistem struktur anjungan lepas pantai dirancang agar dapat menjamin suatu margin keamanan yang memadai dan dapat diterima terhadap kemungkinan gagal sepanjang umur operasinya.

Kelelahan (*fatigue*) akibat beban dinamis menjadi salah satu penyebab kegagalan struktur pada bangunan lepas pantai. Kelelahan (*fatigue*) struktur terutama disebabkan oleh pengaruh beban lingkungan yang bersifat siklis. Sedangkan bagian struktur yang rentan terhadap terjadinya kegagalan terletak pada bagian *tubular Joint*. Hal ini terjadi karena pada *tubular Joint* merupakan sambungan antara *chord* dan *brace* dimana merupakan daerah yang memiliki *stress gradient* yang besar. Selain itu, pada saat proses pengelasan pada sambungan dapat terjadi cacat las. Cacat las merupakan salah satu penyebab timbulnya retak pada bagian pengelasan. Apabila bagian retak tersebut dikenai beban siklis, maka regangan maupun tegangan berulang-ulang akan terjadi, sehingga retak yang sudah ada akan menyebar dan pada selang waktu tertentu akan terjadi kegagalan pada bagian tersebut. Hal inilah yang membuat analisa *fatigue* menjadi salah satu kriteria penting dalam mendesain struktur bangunan lepas pantai. Analisa kelelahan (*fatigue*) dilakukan untuk mengidentifikasi masa layak struktur tersebut sebelum terjadinya kegagalan.

Hal lain yang harus diperhatikan adalah korosi. Menurut Sidiq (2013) korosi adalah kerusakan material khususnya logam secara umum akibat reaksi

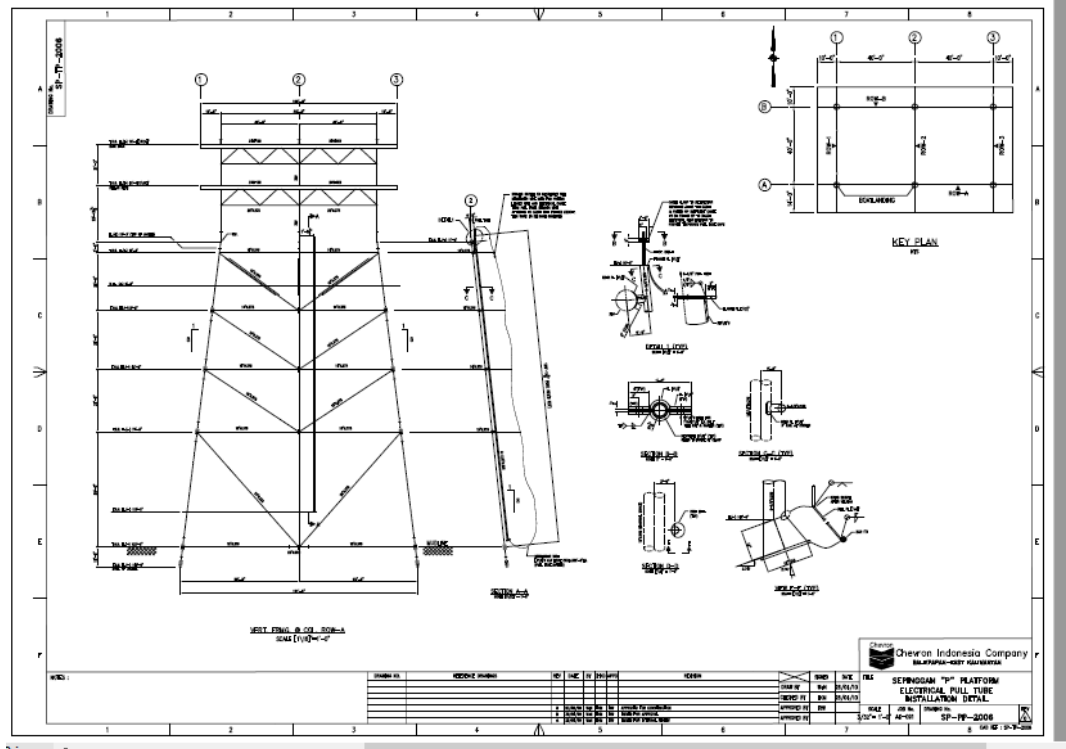
dengan lingkungan sekitarnya. Korosi merupakan penurunan kualitas material yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam.

Struktur yang andal adalah struktur yang memenuhi spesifikasi perancangan dimana dapat memenuhi tugas yang telah ditentukan pada lingkungan yang dikehendaki tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu. Konsep angka keandalan adalah membandingkan secara langsung besarnya tahanan (R) terhadap beban (S). Dimana kedua variabel tersebut adalah besaran yang bersifat acak.(Tawekal,2004)

Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan yang mengandung variabel atau parameter secara acak (Suwandi, 2011). Pada simulasi ini, keandalan struktur dinilai berdasarkan indeks keandalan yang didapatkan dari peluang terjadinya kegagalan. Peluang kegagalan digunakan sebagai acuan dalam menentukan keamanan struktur.

Obyek penelitian pada tugas akhir ini adalah struktur Sepinggian P *Platform*, merupakan platform yang berfungsi sebagai *production platform* yang dimiliki oleh Chevron Indonesia. Sepinggian P *Platform* ini berada di “Sepinggian *Field*” Kalimantan Timur .

Sepinggian P *Platform* didukung dengan struktur 6 kaki yang berdiri pada kedalaman 133,75 ft. *Platform* ini memiliki *ungrouted pile* berdiameter 36” dengan kedalaman penetrasi sebesar 308 ft. Sepinggian P *Platform* didesain untuk masa operasi selama 30 tahun. *Platform* Sepinggian P tersusun atas 2 level utama, yakni *Main Deck* pada elevasi (+)72’-4 11/16” dan *Cellar Deck* pada elevasi (+) 51’- 1 13/16” .



Gambar 1.1 *Drawing Sepingga P*

Mengingat pentingnya mengetahui kemungkinan peluang kegagalan dari struktur, maka dilakukan penelitian tugas akhir dengan menganalisa peluang terjadinya kegagalan akibat kelelahan untuk mengetahui perpanjangan umur operasi .

Untuk membantu penelitian ini digunakan *software* SACS 5.7 untuk melakukan *fatigue analysis* serta mengetahui umur operasi dari struktur .

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa *fatigue damage* struktur Sepingga P Platform dengan variasi korosi?
2. Berapa *service life* struktur Sepingga P Platform dengan variasi korosi?
3. Berapa keandalan dari struktur Sepingga P Platform terhadap kelelahan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisa kelelahan struktur Sepinggian P Platform dengan variasi korosi untuk menentukan *fatigue damage* struktur.
2. Melakukan analisa kelelahan struktur Sepinggian P Platform dengan variasi korosi untuk menentukan *service life* struktur.
3. Melakukan perhitungan untuk mendapatkan keandalan dari struktur Sepinggian P Platform dengan mempertimbangkan variasi korosi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan didapat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan pemahaman tentang prosedur perhitungan *fatigue damage*.
2. Memberikan pemahaman tentang prosedur perhitungan *service life* serta pengaruh pemberian variasi korosi terhadap *service life*.
3. Memberikan pemahaman dalam melakukan perhitungan keandalan serta pengaruh pemberian variasi korosi terhadap keandalan struktur.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan dalam tugas ini, maka dibuatlah batasan-batasan masalah dalam pengerjaan tugas ini yakni:

1. Pada pemodelan, jenis atau cara pengelasan pada sambungan diabaikan dan diasumsikan tanpa ada cacat.
2. Analisa dari struktur *jacket* ditinjau berdasarkan standard code API RP-2A WSD.
3. Beban yang ditinjau pada analisa *fatigue* adalah beban gelombang
4. Persamaan SCF yang digunakan adalah persamaan Efthymiou.
5. Analisa *fatigue* menggunakan metode *spectral fatigue analysis*.
6. Korosi yang terjadi berupa korosi merata (*Uniform Corrosion*).
7. Terdapat 6 (enam) variasi korosi, 3 variasi korosi pada seluruh *jacket* yaitu 1/8" , 1/16" dan 1/32" serta 3 variasi korosi (1/8" , 1/16" dan 1/32") pada daerah *splash zone*."

8. Analisa keandalan hanya dilakukan pada 3 (tiga) joint terkritis dari setiap variasi korosi yang diketahui dari analisa *fatigue*.
9. Variabel beban pada moda kegagalan adalah *cumulative damage* akibat beban gelombang.
10. Pada analisa keandalan, harga variabel yang diubah pada setiap variasi korosi adalah S_e dan ξ .

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab.

BAB I Pendahuluan, menjelaskan tentang hal-hal yang melatarbelakangi dilakukannya penelitian, permasalahan yang ingin diselesaikan dengan mengerjakan penelitian, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian, hal-hal yang menjadi batasan dalam pengerjaan penelitian, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori, berisi tinjauan pustaka serta landasan teori yang dijadikan acuan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir ini.

BAB III Metodologi Penelitian, menguraikan tentang langkah-langkah penelitian yang dilakukan. Mulai dari pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan, analisa serta hasil yang didapatkan untuk mencapai tujuan.

BAB IV Analisa dan Pembahasan, menggambarkan hasil analisa serta pembahasan yang didapat dari penelitian yang telah dikerjakan dalam tugas akhir ini

BAB V Kesimpulan dan Saran, menjelaskan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa dimana menjawab rumusan masalah pada tugas ahir ini serta saran sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Perencanaan anjungan lepas pantai sering dihadapkan pada faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis struktur. Ketidakpastian tersebut berkaitan dengan beban, material, geometri, dll. Parameter ketidakpastian ini harus diperhitungkan dalam perencanaan untuk mengurangi peluang kegagalan struktur. Suatu cara yang digunakan untuk mengakomodir parameter ketidakpastian ini adalah dengan penggunaan "faktor keamanan" yang mengambil batas konservatif untuk suatu angka desain. Analisis keandalan struktur digunakan untuk mengevaluasi kegagalan struktur berkaitan probabilitas sistem kekuatan-beban (Tawekal, 2007).

Dalam konsep keandalan, suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel-variabel acak. Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan, dimana penyediaan (ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja pada sistem). Dalam suatu rekayasa sesungguhnya tidak ada parameter perancangan dan kinerja operasi yang dapat diketahui dengan pasti. Hal ini karena tidak ada seorang pun mampu memprediksi kepastian atau ketidakpastian atas kejadian tertentu.

Bangunan laut seperti *jacket structure* berpeluang mengalami kerusakan akibat adanya kelelahan pada struktur. Kelelahan atau *fatigue* yang terjadi pada struktur *jacket* terjadi akibat adanya beban dinamis yang terjadi secara berulang. Konsep dasar dari penyebab kelelahan struktur adalah adanya pengaruh beban dinamis yang bekerja pada struktur tersebut. Akibatnya, selama masa operasi bagian-bagian pada struktur akan mengalami stress pada lokasi tertentu (ISO: 19902, 2007). Pada umumnya daerah yang paling rentan mengalami kegagalan akibat beban *fatigue* adalah daerah sambungan (*Joint*). Kondisi akan semakin parah apabila ternyata terdapat cacat atau diskontinuitas geometri struktur yang terjadi saat fabrikasi. Diskontinuitas geometri struktur dapat memicu timbulnya

retak (*crack*) kecil pada struktur yang apabila terkena beban secara terus menerus bisa mengalami penjararan retak (*crack propagation*), sehingga dapat menimbulkan kegagalan struktur.

Untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan pada struktur, perlu dilakukan analisa umur kelelahan struktur pada saat perancangan struktur, agar jangan sampai kegagalan struktur terjadi sebelum umur operasi terlampaui. API RP 2A 21st edition merekomendasikan untuk menggunakan metode *spectral analysis*. Dalam analisa kelelahan struktur *jacket platform*, analisa umur kelelahan dilakukan berdasarkan pada fluktuasi beban dinamis yang diterima struktur selama masa umur perencanaannya. Sedangkan untuk mengetahui sisa umur kelelahan struktur, dapat diketahui setelah memperoleh informasi kondisi struktur dan beban selama operasi. Umur kelelahan struktur dapat dicari dengan menggunakan persamaan Palmgren-Miner. (Warastomo,2006).

Dalam memprediksi umur kelelahan pada *offshore structure* menurut Warastomo (2006) bisa menggunakan dua pendekatan, yaitu pendekatan kurva S-N dan pendekatan *fracture mechanic*. Pada metode pendekatan yang pertama, kurva S-N diperoleh dari hasil penelitian hubungan antara jumlah siklus beban hingga gagal (N) dan *stress range* (S). Sedangkan pada metode pendekatan yang kedua menggunakan pendekatan perambatan retak pada daerah konsentrasi tegangan.

Baik analisa fatigue maupun keandalan telah beberapa kali dilakukan oleh mahasiswa teknik kelautan, diantaranya Kusuma (2006) membahas tentang analisa kekuatan ultimate jacket platform dengan pendekatan plastic hinged berbasis keandalan, Irfan (2011) yang membahas tentang analisa kelelahan berbasis resiko pada ETB jacket platform untuk perpanjangan umur operasi serta Wicaksono (2010) melakukan analisa keandalan *scantling support structure system gas processing module FPSO Belanak* terhadap beban kelelahan. Mengembangkan dari penelitian-penelitian sebelumnya, pada penelitian ini membahas analisa keandalan terhadap kelelahan dengan mempertimbangkan variasi korosi perpanjangan umur operasi.

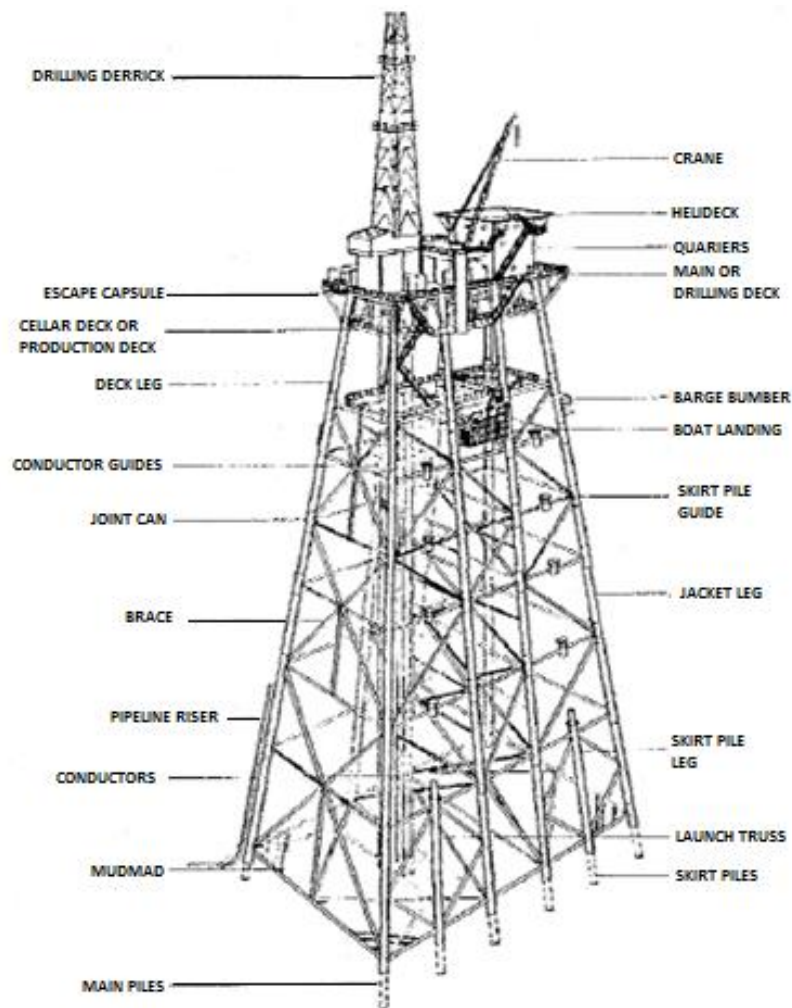
2.2 Dasat Teori

2.2.1 *Fixed Offshore Structure*

Tipe anjungan ini memanfaatkan kekuatan dari kakinya yang didukung oleh konfigurasi *member (brace)* dan *pile* yang tertancap dalam tanah mampu menahan beban vertikal akibat beban fungsional, berat struktur dan fasilitas pendukung serta menahan beban horizontal dan momen lentur akibat beban lingkungan (angin, gelombang, arus, dan lain-lain). *Jacket Platform* yang merupakan anjungan lepas pantai terpancang yang mulai digunakan sejak awal industri lepas pantai, struktur ini dipancang dengan *pile* yang mempunyai *lateral stiffness* untuk menahan beban gelombang, arus, angin pada kedalaman air sekitar 0-400 meter (Prihantika, 2013).

Jacket platform merupakan struktur terpancang (*fixed structure*) yang terdiri atas beberapa komponen utama yaitu :

1. *Deck / Topside* berfungsi sebagai penyokong peralatan, pengeboran dan kegiatan yang dikerjakan di atas air. *Deck* berada pada ketinggian tertentu di atas MSL. *Deck* dibagi-bagi menjadi beberapa tingkat sesuai dengan kebutuhan dan fungsi yang dibutuhkan.
2. *Jacket* berupa konstruksi pipa turbular yang sebagian besar terendam air hingga dasar laut. Berfungsi untuk melindungi *pile* agar tetap berada pada posisinya, menyokong *deck* dan melindungi *conductor* serta menyokong sub-struktur lainnya seperti *boat landing*, *barge bumper* dan lain-lain. Elemen utama struktur *jacket* antara lain *braces*, *joint*, *jacket leg*, *riser*, *deck leg*.
3. *Pile* diletakkan didalam kaki *jacket* akan dipancangkan pada dasar laut. Antara *pile* dengan *jacket* terkadang dilakukan *grouting* untuk menambah kekakuan dan agar *pile* dan *jacket* menyatu. Fungsi utama tiang pancang adalah sebagai pondasi struktur *jacket* untuk meneruskan beban axial dan lateral yang ditransformasikan ke tanah. Untuk itu selain karakteristik pondasi *jacket platform* selain ditentukan oleh perancangan tiang pancang itu sendiri juga ditentukan oleh kondisi tanah yang ada (*soil mechanics*).



Gambar 2.1 *Fixed Platform* (Chakrabarti dkk., 2005)

2.2.2 Konsep Pembebanan

Pada suatu proses perancangan bangunan lepas pantai, untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan. Adapun beban-baban yang harus dipertimbangkan dalam perancangan bangunan lepas pantai adalah sebagai berikut

1. Beban mati (*Dead Load*)
2. Beban hidup (*Live Load*)
3. Beban akibat kecelakaan (*Accidental Load*)
4. Beban lingkungan (*Environmetal Load*)

2.2.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati (*dead load*) adalah beban dari komponen-komponan kering serta beban-beban peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada suatu struktur. Beban mati dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Berat dari struktur bangunan lepas pantai, seperti tiang pancang, bangunan atas, *jacket, deck, railing, grout, paint, stiffners* dan lain-lain.
- b. Berat peralatan dari permesinan yang tidak digunakan untuk pengeboran atau proses pengeboran.
- c. Berat perlengkapan tambahan lain yang dipasang permanen pada struktur, seperti *boad landing, risers, barge bumper*.

2.2.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada *platform* atau bangunan lepas pantai selama dipakai/berfungsi dan tidak berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Adapun yang termasuk beban hidup dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Berat peralatan pengeboran (*drilling*)
- b. Berat peralatan produksi (*treatment*)
- c. Berat pendukung pengeboran
- d. Berat pendukung *treatment*
- e. Beban pengeboran
- f. Beban akibat gaya-gaya yang terjadi pada struktur dari operasi

2.2.2.3 Beban Akibat Kecelakaan (*Accidental Loads*)

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang terjadi pada suatu bangunan lepas pantai. Beban kecelakaan ini terjadi akibat dari:

- a. Tabrakan dengan kapal pemandu operasi
- b. Putusnya tali control

- c. Putusnya tali tambat (rantai jangkar, tali baja pengikat kontrol)
- d. Kebakaran, letusan , *blow out*
- e. Benda yang jatuh mengenai deck dan lain-lain

2.2.2.4 Beban Lingkungan (*Environmetal Loads*)

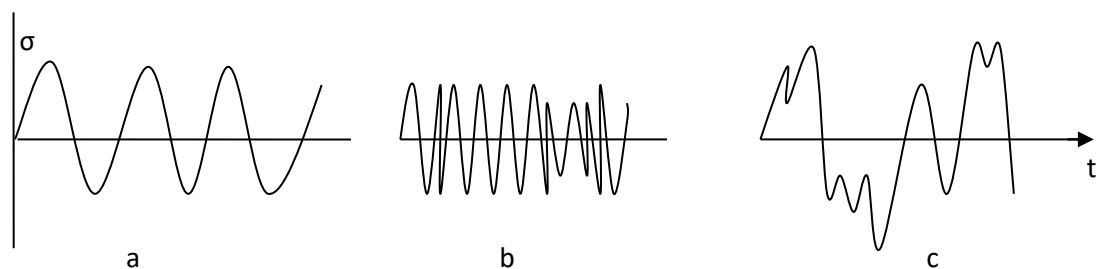
Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dimana suatu bangunan lepas pantai dioperasikan atau bekerja. Beban lingkungan yang biasanya digunakan dalam perancangan adalah:

- 1. Beban gelombang
- 2. Beban angin
- 3. Beban arus

2.2.3 Analisis *Fatigue*

Analisis *fatigue* merupakan analisis kelelahan suatu sistem akibat pembebanan berulang-ulang. Batas dari *fatigue* didefinisikan sebagai tegangan di mana material atau sambungan dapat menahan beban siklik dalam jumlah tertentu. Menurut Suwandi (2008) secara umum proses terjadinya *fatigue* dapat dikategorikan ke dalam 3 fase, yakni crack awal (*initial crack*), penyebaran crack (*spreading*), dan keruntuhan (*fracture*).

Menurut Warastomo (2006) Komponen beban yang sangat signifikan pengaruhnya terhadap *fatigue* adalah perubahan besarnya *stress* maupun *strain*, yang biasa disebut *stress* atau *strain range*. *Stress range* didefinisikan sebagai jarak antara satu puncak beban dan lembah. Sedangkan nilai rata-rata atau nilai puncak dari *stress*, relatif tidak berpengaruh besar bila dibandingkan dengan *stress range*. Ada beberapa tipe dari *fluctuating stress*, seperti dibawah ini.



Gambar 2.2 Beberapa Tipe *Fluctuating Stress*

Pada Gambar 2.2.a menggambarkan amplitudo beban yang memiliki nilai konstan, Gambar 2.2.b menggambarkan *narrow band stress* (yang memiliki amplitudo hampir sama besar), sedangkan pada Gambar 2.2.c menggambarkan *broad band stress*.

Untuk menghitung kerusakan yang ditimbulkan oleh kelelahan (*fatigue damage*), (Wirsching, 1983) mengklasifikasikan beberapa metode dasar, yaitu:

a. Metode Deterministik

Metode ini biasa digunakan oleh Lloyd's Register. Pada metode ini *fatigue damage* dihitung dengan menggunakan *wave exceedance diagram*.

b. Metode Distribusi Gelombang

Metode ini mengasumsikan bahwa tegangan yang terjadi proporsional terhadap tinggi gelombang dan gelombang dideskripsikan dengan distribusi lognormal, Weibull, dan lain-lain.

c. Metode Distribusi Rentang Tegangan

Metode ini secara teoritis memodelkan rentang tegangan sebagai distribusi Weibull yang biasanya diperoleh dari metode spektral, metode distribusi gelombang, dan lain-lain.

d. Metode Spektral

Metode ini biasa disebut dengan metode probabilistik. Pada metode ini *fatigue damage* diperhitungkan dari tiap *seastate* dalam *scatter diagram* dan tegangan dianggap sebagai suatu proses acak yang seimbang (*stationary random process*).

e. Metode *Equivalent* Weibull

Metode ini biasa digunakan oleh DnV, yang menggunakan analisis spektral untuk kemudian mendapatkan distribusi rentang tegangan kurun waktu panjang yang ekuivalen dengan distribusi Weibul.

2.2.3.1 Metode *Spectral*

Analisis *fatigue spektral* menggunakan kurva spektrum permukaan air dan fungsi transfer. Fungsi transfer atau sering disebut *Response Amplitudo Operator* (RAO) merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan dengan amplitudo gelombang. Fungsi transfer dapat dikembangkan dengan beberapa cara yaitu *frequency domain*, *time domain* dengan teori linier gelombang acak. Bentuk akhir dari fungsi transfer ini adalah respon spektra tegangan. Umumnya digunakan metoda *frequency domain*.

Prosedur perhitungan beban kelelahan akibat gelombang acak dengan menggunakan *spectral fatigue analysis* adalah sebagai berikut:

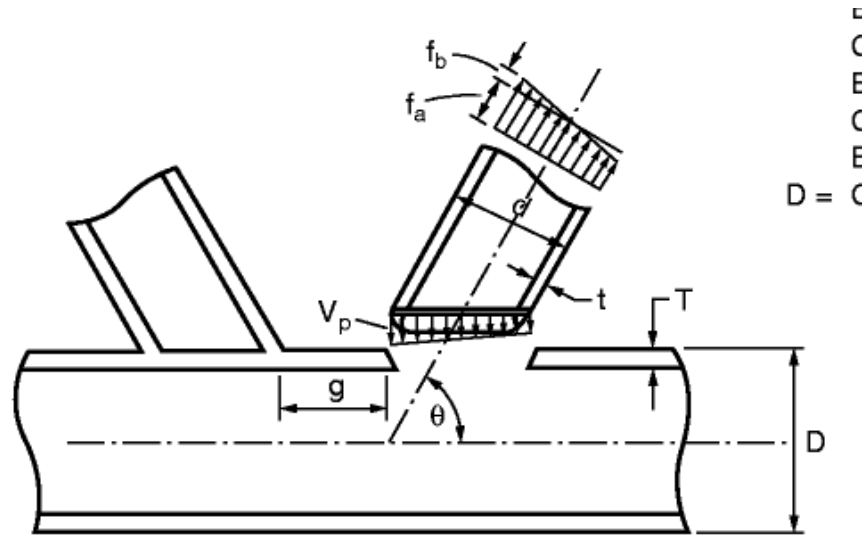
1. Melakukan analisis beban gelombang reguler untuk menghasilkan RAO respons struktur (*Bending Moment, Shear Force*); dilakukan untuk berbagai arah gelombang yang sesuai.
2. Mentransformasikan RAO respons struktur menjadi RAO tegangan.
3. Menentukan mode operasi bangunan laut dengan mempertimbangkan data sebaran gelombang (*wave scatter diagram*), peluang kejadian arah gelombang dan kombinasi H & T gelombang.
4. Menghitung spektra respon tegangan sesuai dengan mode operasi.
5. Menentukan jumlah siklus tegangan dan sebaran siklus tegangan dalam kurun waktu pendek
6. Menghitung sebaran siklus tegangan dalam kurun waktu panjang (merupakan penjumlahan siklus tegangan dalam kurun waktu pendek)
7. Mengkorelasikan hasil analisis dan perhitungan sebaran siklus tegangan dalam kurun waktu panjang dalam butir 6 dengan data kelelahan kurva S-N memakai hukum Palmgren-Miner untuk menentukan umur kelelahan sambungan struktur yang ditinjau.

2.2.4 *Tubular Joint*

Merupakan sambungan antara *chord* dan *brace* pada kaki struktur jacket yang berfungsi untuk mentransfer beban ke member lain (Chakrabarti, 2000). Secara umum *tubular Joint* terdiri atas dua jenis yaitu simple tubular dan overlap

tubular. Dalam kasus ini detail pembahasan akan dikhususkan pada *simple tubular Joint*.

Simple tubular joint merupakan jenis tubular yang memiliki gap antara kedua sambungan *brace* pada *chord*.



Gambar 2.3 Daerah Sambungan (*Joint*)

Θ = sudut *brace*

g = gap (mm)

t = ketebalan *brace*(mm)

d = diameter *brace* (mm)

D = diameter *chord* (mm)

Dalam melakukan analisa tegangan pada tubular *joint* diperlukan strength parameter yang diatur dalam API RP 2A yaitu

$$\tau = \frac{t}{T} \text{ (rasio ketebalan antara brace dan chord) (2.1)}$$

$$\beta = \frac{d}{D} \text{ (rasio diameter antara brace dan chord)..... (2.2)}$$

$$\gamma = \frac{D}{2T} \text{ (rasio diameter dengan dua kali ketebalan chord) (2.3)}$$

2.2.5 Tegangan *Hot Spot*

Hot Spot Stress merupakan gabungan dari berbagai jenis tegangan yang memusat pada suatu titik atau lokasi tertentu. Biasanya lokasi *Hot Spot Stress* adalah pada sambungan (*chord-brace intersection*) dimana terjadi perubahan geometri yang mendadak. Perubahan geometri yang mendadak (*abrupt change*) mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan (*stress concentration*).

Menurut Arriyanto (2010), Bagian dari struktur yang rentan mengalami keruntuhan terletak pada sambungan antara *chord* dan *brace*. Hal ini terjadi karena ketika sambungan antara *chord* dan *brace* di las, maka pada saat dingin, sambungan pada Joint tersebut akan terbentuk retak mikro pada ujung-ujung las. Retak mikro yang terjadi akan menyebar pada saat struktur dikenai beban siklik dan akan merekah ketika penampang member tidak mampu lagi mentransfer beban sehingga terjadilah keruntuhan (*fracture*).

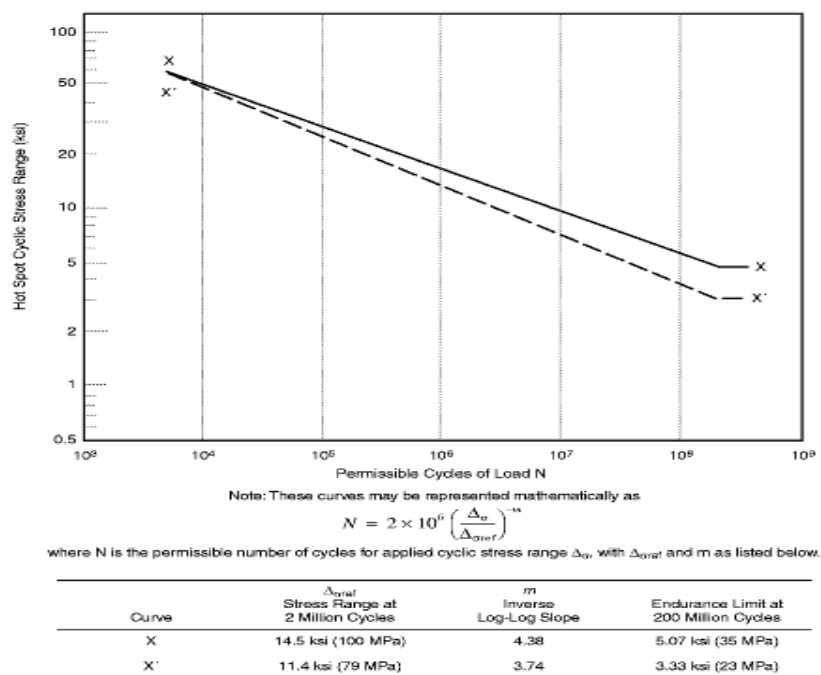


Figure 5.4-1—Fatigue S-N Curves

Gambar 2.4 Kurva S-N (API RP 2A)

Analisis fatigue pada tubular joint dapat dilakukan dengan menggunakan kurva S-N. Kurva tersebut merupakan kurva yang mengkorelasikan antara tegangan dan tegangan siklis yang diijinkan.

Persamaan umum dari kurva S-N adalah :

$$\text{Log } N = \text{Log } A - m \log S \dots\dots\dots (2.4)$$

atau,

$$N = A.S^{-m} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana,

N : jumlah *cycle* untuk gagal

S : *stress* yang terjadi pada saat gagal

A : *intercept* dari kurva

-1/m : *slope* dari kurva

2.2.6 *Stress Concentration factor (SCF)*

Setelah pembebanan global selesai dan ditemukannya *joint* yang paling paling kritis, maka dilanjutkan dengan lokal analisis dimana dalam mencari kelelahan (*fatigue*) yang perlu diperhatikan adalah Faktor Konsentrasi Tegangan (*Stress Concentration factor*). SCF merupakan perbandingan tegangan maksimum pada sambungan dengan tegangan nominal. SCF diperlukan karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak merata (Tawekal,2005). Formula ini secara matematis dituliskan sebagai berikut :

$$SCF = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} \dots\dots\dots (2.6)$$

Stress Concentration factor (SCF) merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan yang nilainya akan berbeda untuk tiap sambungan, tergantung pada geometrinya. Perbedaan geometri memberi nilai *Hot Spot Stress* yang berbeda-beda.

Harga *Stress Concentration factor* (SCF) dari suatu member dapat ditentukan dengan cara pengukuran secara langsung yaitu dengan suatu eksperimen yang menggunakan *strain gauge*. Namun untuk mempermudah,

formulasi-formulasi *Stress Concentration factor* (SCF) sudah banyak dipublikasikan dan ditentukan dalam codes perancangan. Ketiganya merupakan *Stress Concentration factor* (SCF) akibat gaya aksial, *In Plane Bending* (IPB) dan *Out of Plane Bending* (OPB).

Dalam analisa ini akan digunakan formula *Stress Concentration factor* (SCF) yang direkomendasikan API RP-2A WSD untuk desain bangunan lepas pantai. Parameter-parameter yang digunakan dalam formula ini adalah sebagai berikut :

$$\text{Aspek parameter } \beta = d/D \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Aspek parameter } \gamma = D/2T \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Aspek parameter } \tau = t/T \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Aspek parameter } \theta = \text{sudut kemiringan } brace \text{ terhadap } chord$$

2.2.7 Analisa Umur Kelelahan

Bangunan lepas pantai banyak sekali mengalami beban yang sifatnya berulang (siklis) yang menyebabkan berkurangnya kekuatan. Phenomena ini dikenal dengan *fatigue*, dan secara esensial ditandai dengan proses keretakan (*crack*) dan pada proses selanjutnya terjadi penjararan (*propagation*) dan kerusakan (*failure*). Analisa kelelahan penting dilakukan untuk memprediksi besar relatif dari *fatigue life* pada sambungan kritis.

Beberapa parameter yang mempengaruhi kelelahan pada *tubular joint* dan digunakan sebagai pertimbangan oleh perancang adalah:

- 1 Geometri dari *tubular joint*.
- 2 *Type*, amplitudo, dan distribusi beban yang bekerja pada struktur.
- 3 Proses fabrikasi.
- 4 Proses setelah fabrikasi yang dilakukan pada *tubular joint* untuk memperbaiki umur kelelahan dan aspek yang lain.
- 5 Kondisi lingkungan pada saat pertama kali terjadi retak dan perambatannya.
- 6 Beban statis pada *chord*

2.2.8 Metode Palmgren-Miner

Umur kelelahan dari sebuah sambungan yang di las, bergantung pada banyak faktor, antara lain karakteristik material, cacat dan retak Mikro (*Mikro Crack*), bentuk geometris las dan lainnya. Kerusakan akibat fatigue pada struktur lepas pantai secara dominan disebabkan oleh beban gelombang. Stress yang disebabkan oleh beban ini selalu berubah arah dan besarnya dan berlangsung secara random. Stress ini terbagi menjadi variasi pengelompokan stress yang secara komulatif mengakibatkan “*total fatigue damage*”. Model fatigue yang sering dipergunakan dalam perhitungan adalah “*Miner’s cumulative Rule*”:

$$D = \sum_i^k n_i/N_i \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

n_i = Jumlah cycle kolom interval rentangan tegangan I dari rentangan distribusi tegangan jangka panjang.

N_i = Jumlah cycle untuk gagal pada perhitungan tegangan yang sama, didapatkan dari kurva S-N

K = Σ total dari interval-interval rentangan tegangan

D = Rasio kerusakan kumulatif

Hubungan antara N_i dan S_i dapat diambil dari fatigue curve (S-N Curve), sehingga didapat formulasi umur kelelahan dari suatu struktur :

$$\text{Umur Kelelahan} = 1/D \dots\dots\dots (2.11)$$

Berdasarkan hipotesa ini, struktur dikatakan gagal atau melebihi ambang batas keselamatan saat $D = 1$.

2.2.9 Closed-Form Fatigue Equation

Metode peramalan kerusakan akibat kelelahan pada suatu struktur telah diperkenalkan oleh Palmgren-Miner pada persamaan (2.10) .

Bila $p(S)$ adalah merupakan fungsi kepadatan peluang tegangan yang dapat didefinisikan sedemikian rupa, sehingga $p(S_i)dS$ adalah ekuivalen dengan jumlah osilasi komponen tegangan dengan harga-harga puncak yang berada dalam

interval dS dan mempunyai harga rata-rata S_i . Selanjutnya dengan mengambil f dan T masing-masing sebagai frekuensi rata-rata dari tegangan yang bervariasi secara acak dan kurun waktu kerja, maka pertambahan kerusakan yang dikibatkan oleh osilasi tegangan dengan amplitudo S_i yang terjadi dalam kurun waktu T adalah

$$\partial D = \frac{T \times f \times p(S_i) dS}{N(S_i)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dalam hal ini, $N(S_i)$ adalah jumlah siklus yang akan mengakibatkan kerusakan (terbentuknya retak awal) pada level tegangan S_i yang dapat diperoleh dari kurva S-N untuk bentuk komponen struktur serta material tertentu. Integrasi dari Persamaan (2.12) akan memberikan besarnya kerusakan total yang diharapkan (*expected total damage*) untuk terjadi dalam kurun waktu T oleh pengaruh keseluruhan tegangan yakni

$$E(D) = T \times f \int_0^\infty \frac{p_L(S)}{N(S)} ds \dots\dots\dots (2.13)$$

Atau dengan memasukkan jumlah siklus total sebenarnya, N_L , yaitu perkalian dari frekuensi dan waktu, serta menggantikan $N(S)$ dengan A dan S^m maka persamaan (2.13) akan menjadi:

$$E(D) = \frac{N_L}{A} \int_0^\infty S^m p(S) ds \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan menggunakan suatu metode yang sederhana, hasil pengolahan data distribusi gelombang dan respon struktur bangunan laut kurun waktu panjang diturunkan secara bersamaan dalam jumlah besar. Kemudian dari data yang terkumpul tersebut diperoleh bahwa secara umum distribusi beban ataupun respon struktur dapat dipresentasikan dengan distribusi Weibull dua parameter sebagai berikut:

$$p_L(S) = \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{S}{\lambda}\right)^{\xi-1} \exp\left[-\left(\frac{S}{\lambda}\right)^\xi\right] \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana λ dan ξ masing-masing adalah parameter skala dan parameter bentuk distribusi, yang besarnya tergantung dari respon struktur terhadap beban lingkungan. Bila diambil S_e sebagai tegangan ekstrem yang diharapkan akan

terjadi sekali dalam siklus respon keseluruhan sejumlah N_L maka hubungan kedua parameter tersebut adalah:

$$\lambda = S_e (\ln n_0)^{-1/\xi} \dots\dots\dots (2.16)$$

Harga kerusakan yang diharapkan untuk terjadi adalah:

$$E(D) = \frac{n_0}{A} \int_0^\infty S^m \frac{\xi}{\lambda} \left(\frac{S}{\lambda}\right)^{\xi-1} \exp\left[-\left(\frac{S}{\lambda}\right)^\xi\right] ds \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan melakukan manipulasi matematis, ekspresi integral ini dapat digantikan dengan fungsi gamma $\Gamma(x)$, sehingga persamaan (2.17) dapat dituliskan dalam persamaan tunggal yang lebih sederhana (Almar-Naess, 1985) dan biasa dikenal dengan persamaan kelelahan terangkai (*closed form fatigue equation*) yaitu:

$$D = \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right) \dots\dots\dots (2.18)$$

2.2.10 Korosi

Korosi disebabkan oleh garam mineral, asam organik dan gas CO_2 yang larut dalam air merupakan masalah utama pada kerusakan pipa sumur produksi minyak bumi (Triastiani, 2014). Korosi merupakan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam Korosi dapat terjadi didalam lingkungan kering dan juga lingkungan basah. Korosi yang terjadi pada logam tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat dicegah dan dikendalikan sehingga struktur atau komponen mempunyai masa pakai yang lebih lama..Hasil dari proses kerusakan berupa berbagai produk korosi misalnya berbagai macam oksida logam, kerusakan permukaan logam secara morfologi, perubahan sifat mekanis, perubahan sifat kimia (Sidiq, 2013).

2.2.10.1. Jenis Korosi

Secara umum, jenis dari korosi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

Korosi seragam merupakan korosi dengan serangan merata pada seluruh permukaan logam. Korosi terjadi pada permukaan logam yang

terekspose pada lingkungan korosif. Proses terjadinya korosi ini adalah secara kimia atau elektrokimia secara teratur dengan laju konstan dan terjadi secara merata pada permukaan, hal ini mengakibatkan logam makin lama makin menipis. Dalam medium cairan, korosi merata menyebabkan pelarutan logam dan mengakibatkan logam mengalami kehilangan berat. Jenis korosi ini dapat diketahui dengan baik karena tampilannya serangannya yang menyeluruh dan seragam di semua permukaan logam. Korosi ini terjadi jika lingkungan korosif mempunyai akses yang sama ke seluruh bagian dari permukaan logam dan secara termodinamika logamnya harus mempunyai komposisi kimia yang sama.

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik terjadi jika dua logam yang berbeda tersambung melalui elektrolit sehingga salah satu dari logam tersebut akan terserang korosi sedang lainnya terlindungi dari korosi. Untuk memprediksi logam yang terkorosi pada korosi galvanik dapat dilihat pada deret *galvanic*.

3. Korosi Celah

Mirip dengan korosi galvanik, dengan pengecualian pada perbedaan konsentrasi media korosifnya. Celah atau ketidakteraturan permukaan lainnya seperti celah paku keling (rivet), baut dan sebagainya, yang bersentuhan dengan media korosif dapat menyebabkan korosi terlokalisasi.

4. Korosi Sumuran

Korosi sumuran terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam sehingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam. Korosi logam pada baja tahan karat terjadi karena rusaknya lapisan pelindung (*passive film*). Korosi sumuran merupakan salah satu bentuk korosi yang sangat destruktif dan sangat sulit diperkirakan.

2.2.10.2 Laju Korosi

Laju Korosi adalah banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Perhitungan laju korosi berdasarkan ketebalan pipa dengan menggunakan persamaan 2.19 (Daerobi,2012).

$$\text{Laju korosi (mm/th)} = \frac{t_{\text{aktual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{Masa Pakai (tahun)}} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.2.10.3 Dampak Korosi

Korosi yang terjadi pada logam tidak dapat dihindari, tetapi hanya dapat dicegah dan dikendalikan sehingga struktur atau komponen mempunyai masa pakai yang lebih lama. Setiap komponen atau struktur mengalami tiga tahapan utama yaitu perancangan, pembuatan dan pemakaian. Ketidakberhasilan salah satu aspek seperti korosi menyebabkan komponen akan mengalami kegagalan. Kerugian yang akan dialami dengan adanya korosi meliputi finansial dan safety, diantaranya :

- Penurunan kekuatan material
- Penipisan
- Downtime dari equipment
- Retak & Pitting
- Kebocoran fluida
- Embrittlement
- Penurunan sifat permukaan material
- Penurunan nilai / hasil produksi
- Modification

2.2.11 Analisis Keandalan

2.2.11.1 Keandalan Pada Sistem Rekayasa

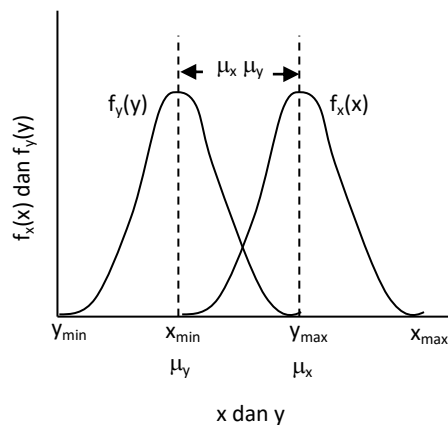
Analisis keandalan struktur bermanfaat untuk memberikan pijakan rasional dalam pengambilan keputusan. Keandalan merupakan salah satu aspek yang harus dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan rekayasa seperti

perencanaan produksi, pemeliharaan *fixed structure*, perancangan anjungan lepas pantai, disamping aspek-aspek yang lain (Rosyid, D.M, 2007).

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara Demand (tuntutan atau beban) dan Capacity (kapasitas atau kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas safety factor (angka keamanan) yang diperkenankan. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas, X^* , dan beban, Y^* , yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{X^*}{Y^*} \dots\dots\dots (2.20)$$

Mengingat nilai nominal dari kapasitas, X^* dan beban, Y^* tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5. Dengan demikian, angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan $Z = X/Y$ dari dua variabel acak X dan Y.



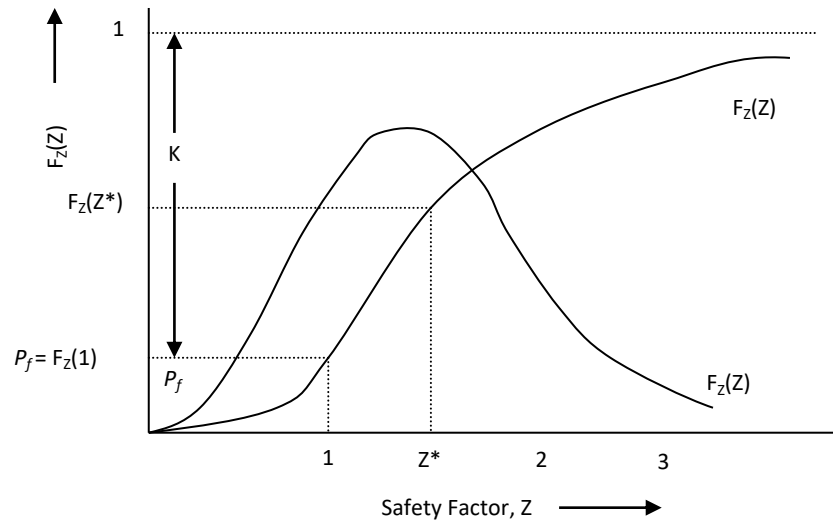
Gambar 2.5 Fungsi Kerapatan Peluang (fkp) dari Kapasitas X dan Tuntutan Y

Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya, yang diukur dengan peluang kegagalan, dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang dari satu, yaitu porsi dalam dimana $Z = X/Y \leq 1$ Peluang kegagalan sistem, P_f diberikan dengan persamaan:

$$P_f = P[Z \leq 1] = F_z(1) \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana F_z adalah fungsi distribusi komulatif dari Z . dengan pernyataan lain, peluang sistem untuk tidak gagal (keandalan) adalah:

$$K = 1 - P_f = P[Z > 1] = 1 - F_z(1) \dots\dots\dots(2.22)$$



Gambar 2.6 Fungsi Distribusi Komulatif dan Fungsi Kerapatan Peluang pada Angka Keamanan $Z = \frac{X}{Y}$

Ketika distribusi peluang bersama (*joint probability distribution*) dan X dan Y diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi komulatif dari X/Y . Peluang kegagalan nol ($P_f = 0$) dan keandalan 100 ($K = 1$) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum Y_{\max} tidak melewati kapasitas minimum X_{\min} , sehingga kedua distribusi tidak saling overlap.

2.2.11.2 Safety Margin (Margin Keamanan)

Jika *demand* maksimum Y_{\max} melampaui kapasitas maksimum X_{\min} , distribusi kedua-duanya akan mengalami overlap dan probabilitas kegagalan tidak lagi bernilai nol. Untuk menilai probabilitas, dapat diambil perbedaan diantara kapasitas dan beban, yang biasanya disebut dengan margin keamanan atau safety margin, S :

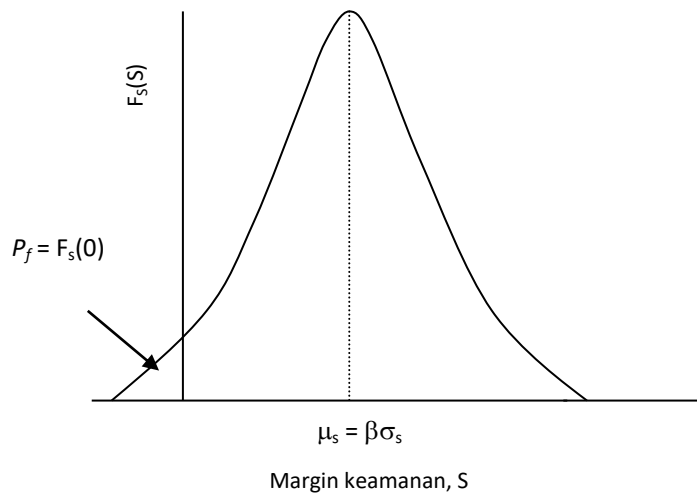
$$S = X - Y \dots\dots\dots (2.23)$$

Oleh karena nilai X dan Y adalah acak, margin keamanan juga merupakan perubah acak sebagaimana dipresentasikan pada gambar 2.7. Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutanannya, yang diukur dengan peluang kegagalan P_f , dapat diperkirakan menggunakan fungsi kerapatan peluang dari margin keselamatan, yaitu pada bagian dimana S bernilai negatif, atau $S = X - Y \leq 0$. Sehingga dapat dituliskan:

$$P_f = P[(X - Y) \leq 0] = P[S \leq 0] \dots\dots\dots (2.24)$$

dan sebaliknya, keandalannya adalah

$$K = 1 - P_f = P[(X - Y) > 0] = P[S > 0] \dots\dots\dots (2.25)$$



Gambar 2.7 fkp untuk Batas Margin S

2.2.11.3 Moda Kegagalan

Adanya variabel acak dari beban gelombang yang bekerja secara *cyclic* pada struktur menyebabkan timbulnya ketidakpastian. Untuk menjaga agar struktur tetap aman maka sangat diperlukan analisa keandalan struktur terhadap kelelahan. Tahap awal dari analisa keandalan adalah menentukan moda kegagalan. Dalam hal ini moda kegagalan yang ditinjau adalah *cumulative damage* dari struktur akibat beban *cyclic*.

$$MK = S - L \dots\dots\dots(2.26)$$

Persamaan diatas adalah persamaan umum dari persamaan moda kegagalan, dimana S (*strength*) adalah variabel kekuatan dan L (*load*) adalah variabel beban. Untuk analisa keandalan berbasis *fatigue*, moda kegagalan yang digunakan digambarkan dalam sebuah formulasi ambang keselamatan oleh kelelahan seperti dibawah ini (persamaan 2.27)

$$g(x) = \Delta - D \dots\dots\dots (2.27)$$

$$g(x) = \Delta - \frac{n_0}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_0)^{m/\xi}} \Gamma\left(\frac{m}{\xi} + 1\right) \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana Δ adalah variabel dari *strength* dalam hal ini adalah *damage limit* dari struktur, sedangkan D adalah variabel dari *load* dalam hal ini adalah *cumulative damage* yang terjadi selama operasi. Struktur dikatakan aman apabila $g(x) \geq 0$ dan dikatakan gagal apabila $g(x) < 0$.

Setiap variabel dalam formulasi moda kegagalan merupakan variabel acak dengan distribusi dan COV tertentu. Nilai rata-rata dari *stress range amplitude* (S_e) dan banyaknya kejadian gelombang selama operasi (n_0) didapat dari output analisa *fatigue* pada GT-Strudl. Sedangkan nilai rata-rata dai A dan m didapat dari persmaan kurva S-N. Dan untuk mencari Weibull parameter dubutuhkan besar *cumulative damage* yang didapat dari output analisa *fatigue* pada SACS 5.7.

2.2.11.4 Simulasi Monte Carlo

Simulasi *Monte Carlo* digunakan untuk menyelesaikan suatu persoalan yang mengandung variabel atau parameter random yang bersifat acak. Karakteristik pokok dari simulasi *monte carlo* adalah menggunakan data sampling yang telah ada (historical data) dan diketahui distribusi datanya. Perhitungan respons atau kinerja sistem ini bersifat deterministik untuk suatu set nilai dari setiap variabel. Prosedur ini diulang-ulang sampai diperoleh sekumpulan nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut, sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respons atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data, dengan mana analisis statistik dapat dilakukan untuk

menentukan nilai rata-rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respons atau kinerja sistem tersebut.

Prinsip dasar metode simultan *Monte Carlo* sebenarnya adalah sampling numerik dengan bantuan *random number generator* (RNG), di mana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubahan acak berdasarkan distribusi peluang perubahan acak tersebut (Leksono, 2013).

Menurut Ainnillah (2017), Persoalan utama di dalam simulasi *Monte Carlo* adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh random number generator (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (fkp)-nya. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp uniform, sedangkan peribah dasar dalam MK (x) seringkali tidak demikian (misal terdistribusi secara normal, lognormal, dan sebagainya). RNG biasanya ada dalam CPU komputer sebagai built-in komputer program dalam bagian ROM-nya RNG yang disediakan ini hamper selalu berbentuk linear congruential generator yang mengeluarkan suatu deretan bilangan cacah (integer) I_1, I_2, I_3, \dots , masing-masing anatar 0 dan $m-1$ (m sebuah bilangan yang besar sekali) dengan menggunakan sebuah relasi rekurens berikut:

$$I_{j+1} = aI_j + C \pmod{m} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan ini disebut modulus, dan a serta c adalah bilangan cacah (integer) yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan inkremen. Relasi rekuens di atas akan berulang dengan periode yang lebih kecil dari m . jika m, a, a , dipilih secara seksama, maka periode ulang yang terjadi akan memiliki panjang maksimum, yaitu m . dalam hal itu, semua bilangan cacah (integer) antara 0 dan $m-1$ akan muncul, sehingga setiap pilihan “biji I_0 ” akan menghasilkan deret yang secara statistic sama baiknya.

Semua angka acak aP , $P = 1, 2, \dots M$, dengan fkp uniform akan dikeluarkan oleh RNG untuk kemudian ditransformasikan menjadi XP , $P = 1, 2, \dots, M$. transformasi aP (bilangan acak) menjadi XP (perubah acak ke P) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan distribusi komulatif dari masing-masing perubah acak. Ini berarti untuk setiap peubah acak dihitung sendiri-sendiri

sesuai dengan distribusi peluangnya (atau fkp-nya). Jika bilangan acak telah ditransformasikan menjadi peubah acak, MK (x) kemudian dihitung, ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan, sedang apabila MK (x) \geq 0, maka ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan, sedang apabila MK (x) $<$ 0, maka ini dicatat dan disimpan dalam n. eksperimen ke k dilanjutkan sampai K = N, sesudah itu peluang kegagalan system/komponen dihitung sebagai n/N.

2.2.11.5 Probability of Failure (PoF)

Probability of Failure atau Peluang Kegagalan adalah peluang suatu kejadian dalam fungsi waktu. Besaran nilai dari Probability of Failure berselang antara 0 hingga 1. Dan biasanya direpresentasikan ke dalam bentuk grafik logaritma. Pada DNV RP-G101 penentuan skala parameter dari *Probability of Failure* adalah sebagai berikut :

| Table 4-1 Probability of failure description | | | |
|--|----------------------------|------------------|--|
| Cat. | Annual failure probability | | Description |
| | Quantitative | Qualitative | |
| 5 | $> 10^{-2}$ | Failure expected | (1) In a small population*, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in location. |
| 4 | 10^{-3} to 10^{-2} | High | (1) In a large population**, one or more failures can be expected annually. (2) Failure has occurred several times a year in operating company. |
| 3 | 10^{-4} to 10^{-3} | Medium | (1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a small number of components. (2) Failure has occurred in operating company. |
| 2 | 10^{-5} to 10^{-4} | Low | (1) Several failures may occur during the life of the installation for a system comprising a large number of components. (2) Failure has occurred in industry. |
| 1 | $< 10^{-5}$ | Negligible | (1) Failure is not expected. (2) Failure has not occurred in industry. |
| Notes: * Small population = 20 to 50 components. ** Large population = More than 50 components | | | |

Gambar 2.8 Deskripsi *Probability of Failure* (DNV RP- G101)

2.2.11.6 Indeks Keandalan

Cara lain untuk mengukur keandalan adalah dengan cara menggunakan indeks keandalan β , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara rata-rata dan simpangan baku dari margin keselamatan, S (Ainnillah,2017), yaitu:

$$\beta = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \dots\dots\dots(2.30)$$

Jika menggunakan nilai kritis margin keselamatan, $S = 0$, dan jaraknya dengan rata-rata margin keamanan μ_s , maka indeks keandalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku σ_s pada jarak ini. Artinya, jarak antara $S = 0$ dengan μ_s ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku. Semakin panjangnya, relative terhadap simpangan baku, maka semakin besar indeks keandalannya. Selanjutnya, indeks keandalan juga berbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan (V_s), atau dapat dituliskan $\beta = 1/V_s$

Untuk menghasilkan ekspresi yang lebih umum atas indeks keandalan, dapat digunakan persamaan $\mu_s = \mu_x - \mu_y$, dan $\sigma_s^2 = \sigma_x^2 - 2\rho_{xy}\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2$, sehingga:

$$\beta = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\sigma_x^2 - 2\rho_{xy}\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2}} \dots\dots\dots (2.31)$$

Dimana ρ_{xy} adalah koefisien korelasi diantara kapasitas dan beban. Oleh karena itu, indeks keandalan adalah maksimum jika $\rho_{xy} = +1$ dan minimum jika $\rho_{xy} = -1$. Untuk X dan Y terdistribusi normal, maka peluang kegagalan adalah:

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \dots\dots\dots (2.32)$$

$$K = \Phi(\beta) \dots\dots\dots (2.33)$$

BAB III

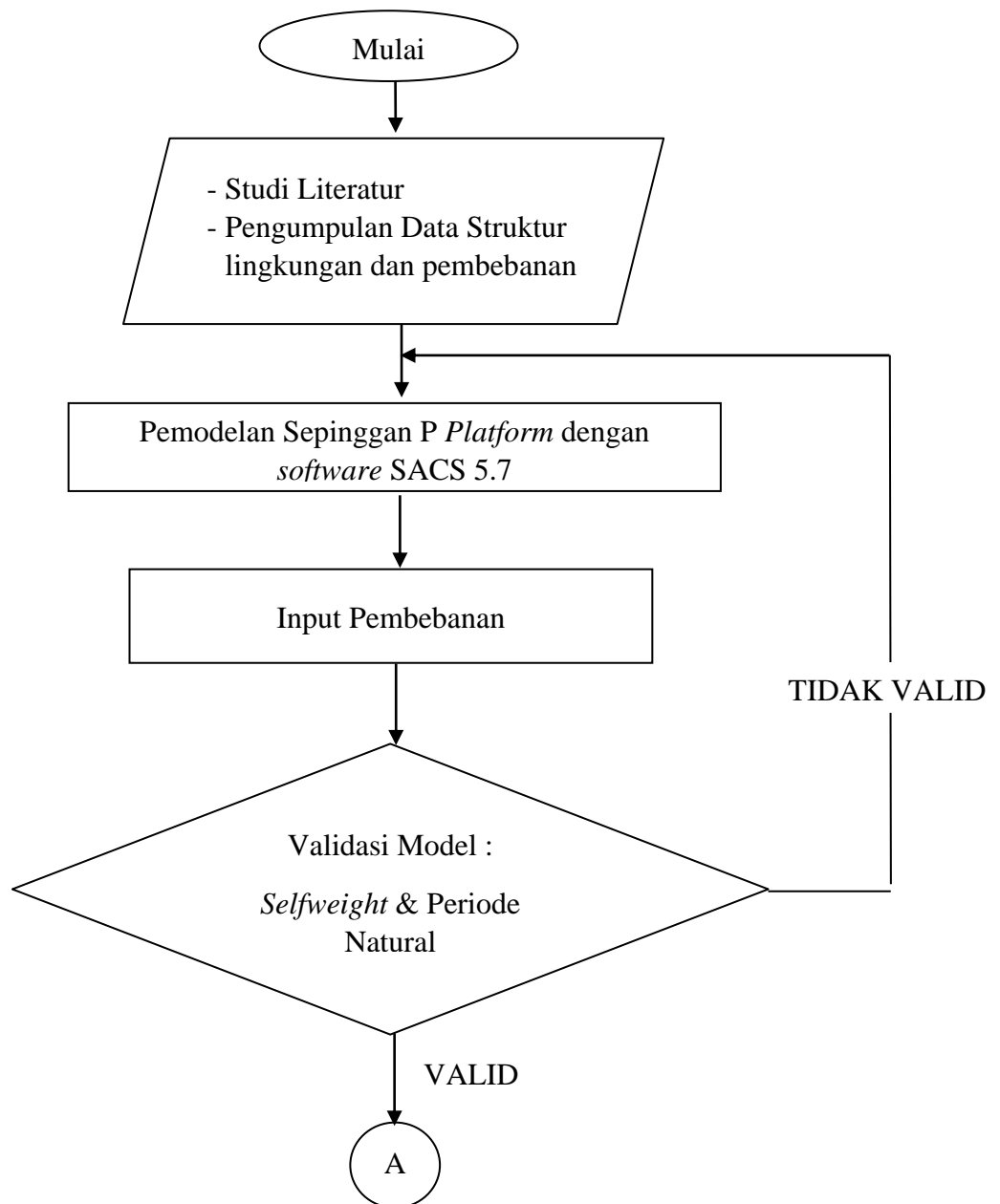
METODOLOGI PENELITIAN

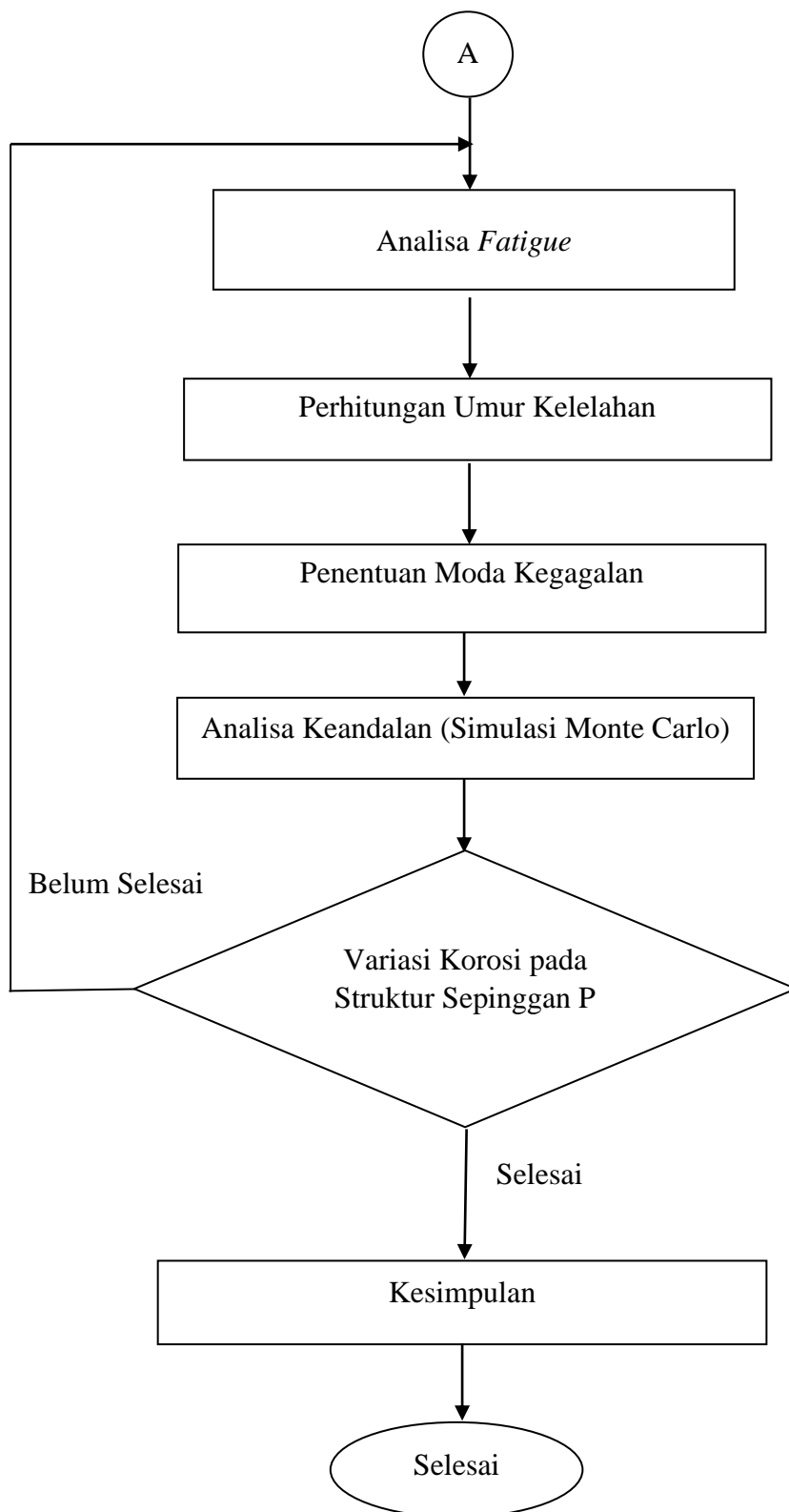
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian Umum

Penjelasan mengenai alur penelitian yang digunakan dalam tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1, prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mencari serta mempelajari buku, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang sama atau mirip dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai bahan-bahan referensi dan sumber teori-teori yang diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa data struktur, data lingkungan, data pembebanan pada struktur Sepinggian P sebagai objek tugas akhir.

3. Pemodelan Sepinggian P Platform dengan software SACS 5.7

Pemodelan struktur Sepinggian P dengan menggunakan software SACS 5.7. *Software* ini merupakan *software* struktur yang berdasarkan *finite element method* (FEM). Input data pada pemodelan struktur Sepinggian P berdasarkan data yang tersedia, baik dalam bentuk *drawing* maupun dalam bentuk *report*.

4. Pemberian Variasi Korosi pada Pemodelan Sepinggian P Platform

Pada Tugas akhir ini, terdapat 6 (enam) variasi korosi dengan rincian sebagai berikut, 3 variasi korosi pada seluruh jacket yaitu $1/8''$, $1/16''$ dan $1/32''$ serta 3 variasi korosi ($1/8''$, $1/16''$ dan $1/32''$) hanya pada daerah *splash zone*. Menurut ASME Section 1, *corrosion allowance* minimum adalah $1/32''$ dan maksimum adalah $1/8''$. variasi korosi pada struktur berhubungan dengan penipisan *outer diameter* (OD) dan *wall thickness* (WT) dari struktur, semakin besar korosi yang diberikan, semakin besar pula penipisan OD dan WT.

5. Input Pembebanan

Pemodelan beban untuk stuktur Sepinggian P terdiri dari beban statis dan beban dinamis. Beban statis terdiri dari beban struktur beban struktur sendiri sedangkan beban dinamis yang digunakan adalah beban lingkungan yang berupa beban gelombang.

6. Validasi Model

Pembuktian dengan menyamakan berat struktur maupun periode natural Sepinggaan P yang dimodelkan dengan berat struktur dan periode natural pada *report*. Model dikatakan valid apabila perbedaan antara berat struktur dan periode natural yang dimodelkan dengan report tidak lebih dari 5%. Validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa struktur yang dimodelkan sudah dapat mewakili struktur sesungguhnya.

7. Analisa *Fatigue*

Pada tugas akhir ini analisa *fatigue* dilakukan dengan metode spektral dengan bantuan software SACS 5.7. Analisa dilakukan dalam 8 arah pembebanan, Analisa ini dilakukan untuk mengetahui nilai *fatigue damage* dari *joint* yang ada pada struktur Sepinggaan P.

8. Perhitungan Umur Kelelahan

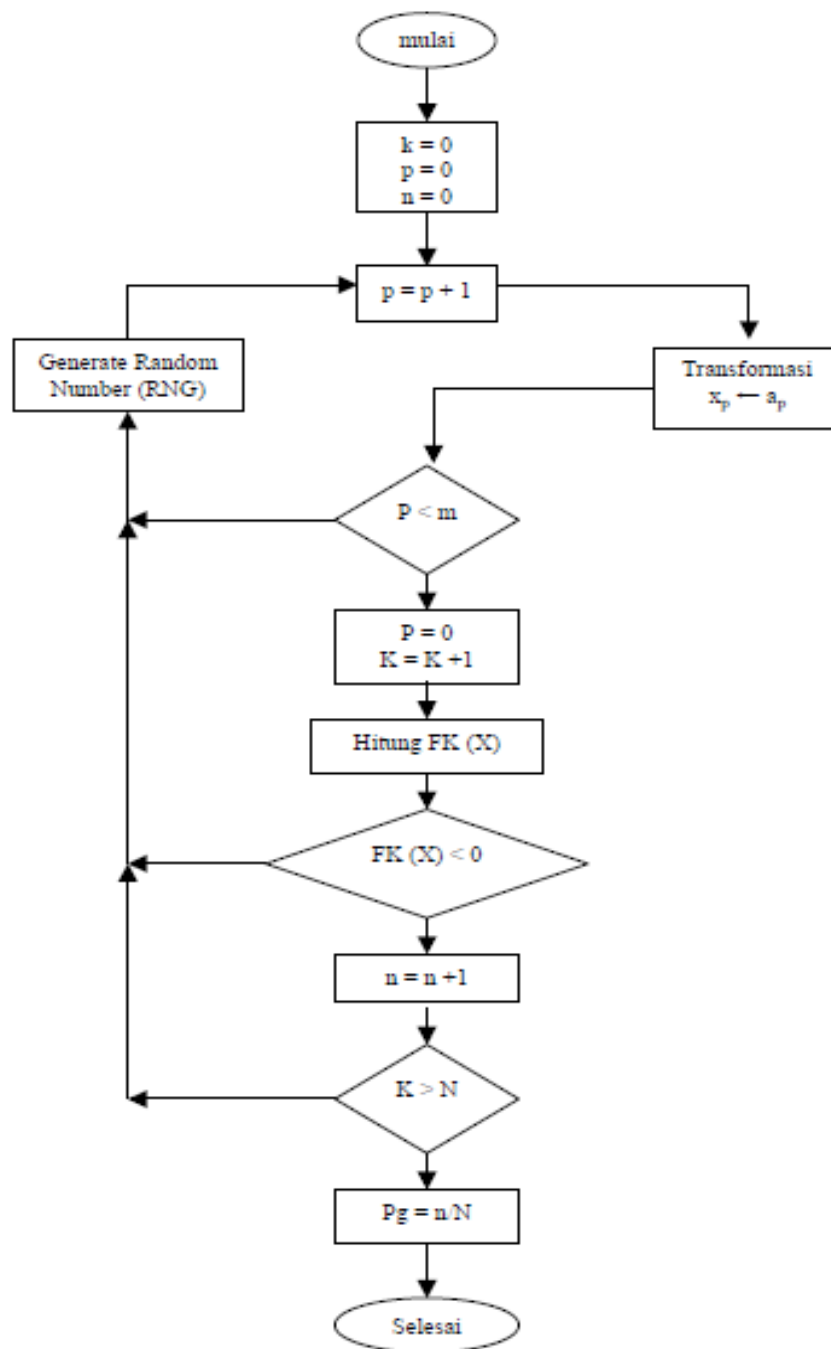
Melakukan perhitungan umur kelelahan dengan menggunakan formula Miner.

9. Moda Kegagalan

Moda kegagalan yang ditinjau adalah *cumulative damage* dari struktur akibat beban *cyclic*. Moda kegagalan yang digunakan digambarkan dalam sebuah formulasi ambang keselamatan oleh kelelahan.

10. Analisa Keandalan

Pada tugas akhir ini analisa keandalan menggunakan metode simulasi Monte Carlo. Setiap variabel acak dari formulasi ambang keselamatan disimulasikan dan dengan mengenerate RNG. Simulasi ini dilakukan sebanyak 50.000 kali simulasi, dan dari 50.000 kali simulasi tersebut dihitung berapa peluang kegagalan dengan mengacu pada syarat aman moda kegagalan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan keandalan struktur menggunakan simulasi Monte Carlo ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2 Algoritma Tipikal Untuk Simulasi Monte Carlo
(Rosyid dan Mukhtasor, 2002)

Keterangan :

P_g = probability of failure
 $FK(X)$ = moda kegagalan
 n = jumlah percobaan gagal

| | |
|---|--------------------------------|
| K | = penghitung jumlah eksperimen |
| N | = jumlah eksperimen |
| M | = jumlah perubah dasar ke Xp |

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Struktur

Dalam Penelitian ini, objek studi yang digunakan adalah Sepinggan P Platform yang dioperasikan oleh Chevron Indonesia, di “Sepinggan Field” Platform yang berjenis enam kaki ini berfungsi sebagai *production platform*. Spesifikasi dari Sepinggan P platform ini adalah sebagai berikut:

1. Nama Anjungan : Sepinggan P Platform
2. Pemilik : Chevron Indonesia Company
3. Jenis Struktur : Productuon Platform
4. Lokasi : Lepas pantai Kalimantan Barat
5. Lapangan : Sepinggan Field
6. Jumlah Dek : 3 dek
7. Dek : Main deck, Cellar deck, Mini deck
8. Jumlah Kaki : 6 kaki
9. Design Life : 30 tahun
10. Elevasi Horizontal Brace :
 - Elevasi (+) 16’ - 9 “
 - Elevasi (-) 12’ – 9”
 - Elevasi (-) 42’ – 9”
 - Elevasi (-) 74’ – 9”
 - Elevasi (-) 133’ – 9”

3.3.2 Data Lingkungan

Data lingkungan untuk struktur Sepinggan P Platform didapatkan dari dokumen *General Specification Site Condition and Climate – GES-EN-SPC-0007-0*.

3.3.2.1 Data Muka Air Rata-Rata

Data muka air rata-rata untuk struktur Sepinggan P Platform berdasarkan Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Data Muka Air Rata-Rata

| <i>Description</i> | <i>5-years Condition</i> |
|---------------------------------------|--------------------------|
| <i>Seabed From MSL (ft)</i> | 133.75 |
| <i>Highest Astronomical Tide (ft)</i> | 4.1 |
| <i>Storm Surge (ft)</i> | - |
| <i>Water Depth (ft)</i> | 133.75 |

3.3.2.2 Data Kecepatan Angin

Referensi ketinggian untuk kecepatan angin adalah 33 ft di atas sea level. Data kecepatan angin sesuai Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Angin

| <i>Return Period</i> | <i>Wind Speed</i> (mph/fps) |
|----------------------|--------------------------------|
| <i>5-years</i> | 32,6/47,81 |
| <i>100-years</i> | 39.0/57.20 |

3.3.2.3 Data Gelombang

3.3.2.3.1 Data Desain Gelombang

Desain data gelombang untuk struktur Sepinggan P Platform disajikan pada Tabel 3.3. Teori gelombang yang digunakan dalam perhitungan adalah teori gelombang Stokes.

Tabel 3.3 Data Gelombang

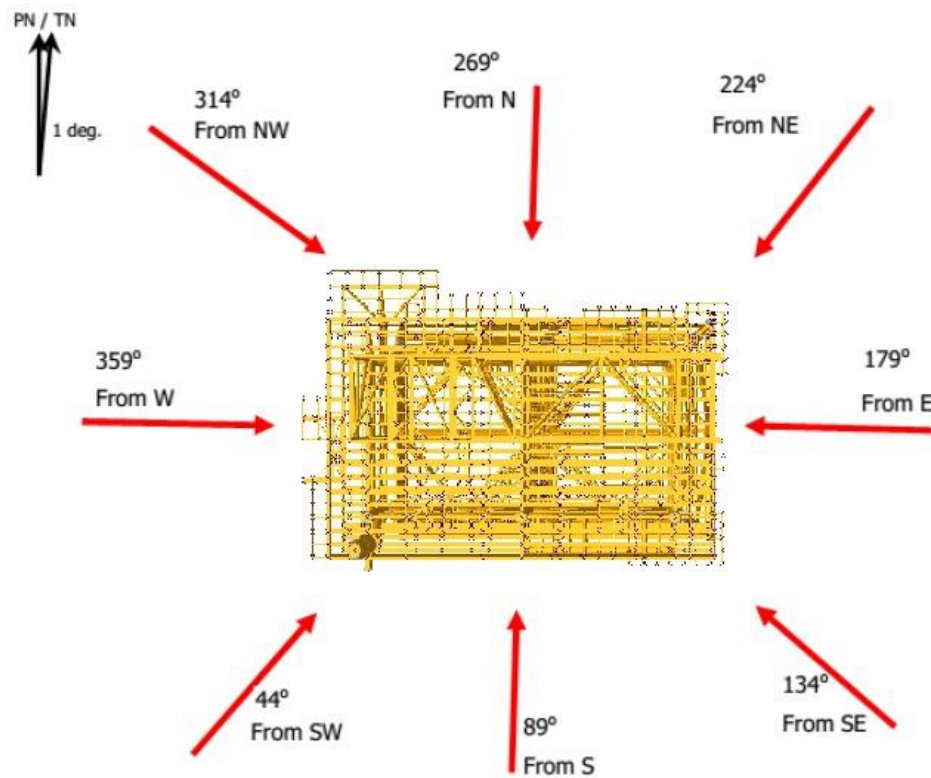
| <i>Return Period</i> | <i>Wave Height (m)</i> | <i>Wave Period (s)</i> |
|----------------------|------------------------|------------------------|
| <i>5-years</i> | 11.90 | 7.7 |
| <i>100-years</i> | 16.30 | 8.1 |

3.3.2.3.2 Data Sebaran Gelombang

Data sebaran gelombang termasuk dalam studi *metocean* yang digunakan dalam analisa umur kelelahan struktur seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang untuk Semua Tahun

| Height (ft) | Direction | | | | | | | | Total |
|----------------|-----------|----|------|------|------|----|---|----|-------|
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | |
| >5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4-5 | 0 | 0 | 0 | 4 | 32 | 0 | 0 | 0 | 36 |
| 3-4 | 0 | 0 | 2 | 136 | 341 | 0 | 0 | 0 | 479 |
| 2-3 | 0 | 49 | 154 | 1062 | 1372 | 9 | 2 | 0 | 2648 |
| 1-2 | 0 | 27 | 2633 | 2829 | 1343 | 4 | 1 | 0 | 6837 |
| Total | 0 | 76 | 2789 | 4031 | 3088 | 13 | 3 | 0 | 10000 |



Gambar 3.3 Arah Gelombang

3.3.2.4 Koefisien Hidrodinamis

Data koefisien hidrodinamis sesuai *code* API RP-2A WSD seperti pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Data Koefisien Hidrodinamis

| <i>Coefficient</i> | | <i>Fatigue</i> |
|--------------------|---------------|----------------|
| <i>Inertia</i> | <i>Smooth</i> | 2.0 |
| | <i>Rough</i> | 2.0 |
| <i>Drag</i> | <i>Smooth</i> | 0.5 |
| | <i>Rough</i> | 0.8 |

3.3.2.5 Marine Growth

Data *marine growth* pada struktur Sepinggian P Platform ditunjukkan seperti Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data *Marine Growth*

| <i>Depth</i> | <i>Marine Growth Thickness (inch)</i> |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| MSL to EL -50 ft | 3 |
| EL -50 ft to EL -85 ft | 2 |
| EL -85 ft to EL -100 ft | 3 |
| EL -100 ft to EL -115 ft | 2 |
| EL -115 ft to EL -133,75 ft | 1 |

3.3.3 Splash Zone

Splash Zone pada Sepinggian P platform terjadi pada elevasi EL (-) 13 ft dibawah MSL sampai dengan (+) 17 ft diatas MSL.

3.3.4 Material Properties

Material properties yang digunakan adalah sebagai berikut

- *Young modulus* $E = 29007.55 \text{ ksi}$
- *Shear modulus* $G = 11202.71 \text{ ksi}$
- *Poisson Ratio* $\nu = 0.3$
- *Volumetric mass* $\rho = 490 \text{ lb/ft}$

Steel grades dan *yield strength* adalah sebagai berikut

- *All tubular* $< 18''$ \Rightarrow API-5L Grade B $F_y = 35 \text{ ksi}$
- *All tubular* $\geq 18''$ \Rightarrow ASTM A36
- *Pile* \Rightarrow API-5L Grade X-52 $F_y = 52 \text{ ksi}$
- *Rolled sections (Channel etc)* \Rightarrow ASTM A36 $F_y = 36 \text{ ksi}$

3.3.5 Acuan pada SACS 5.7

Pada tugas akhir ini analisa *fatigue* dilakukan dengan metode spektral dengan bantuan SACS 5.7, analisa dilakukan dalam 8 arah pembebanan, dan dilihat *joint* yang memiliki umur kelelahan terendah.

Stress concentration factor (SCF) menggunakan persamaan Efthymiou dihitung secara otomatis oleh program SACS 5.7 dan secara otomatis pula mendefinisikan tipe sambungan pada *joint*. Kurva S-N yang dipakai dalam Tugas Akhir ini adalah kurva x dari API RP 2A 20th dimana sudah ada dalam program SACS 5.7

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

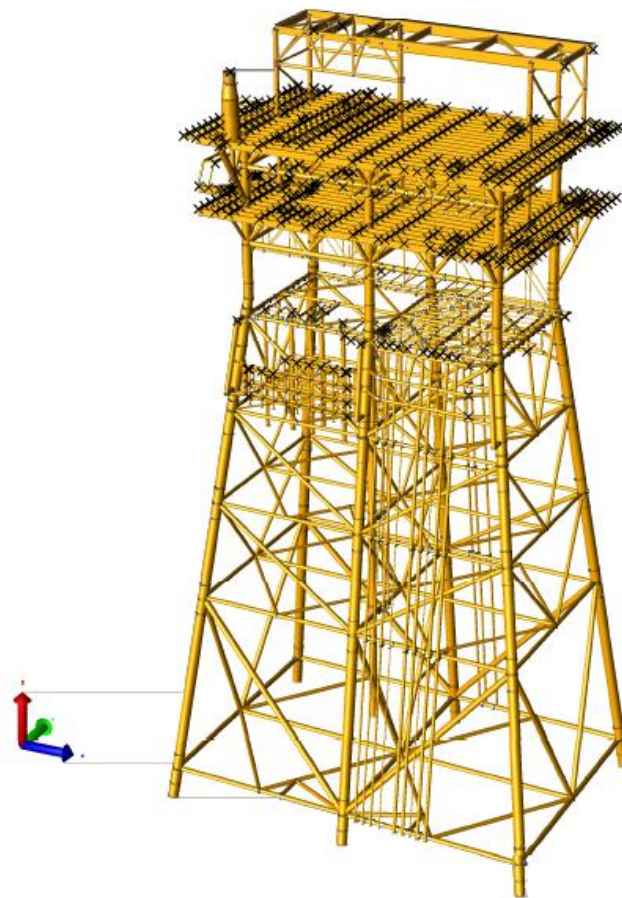
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

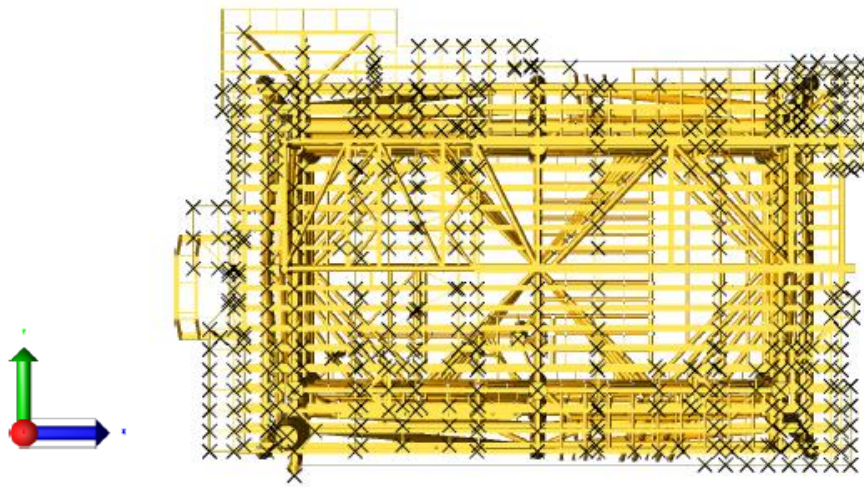
4.1 Pemodelan

4.1.1 Pemodelan Struktur Sepingga P Platform

Pemodelan struktur Sepingga P *platform* menggunakan perangkat lunak SACS 5.7 dengan menggunakan data yang diketahui sebelumnya (BAB III), *report* dan *drawing*. Perangkat lunak yang digunakan merupakan salah satu *software* struktur yang berbasis FEM (*Finite Element Method*). Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 adalah tampak *isometric* pada SACS 5.7 pemodelan struktur Sepingga P *platform*.



Gambar 4.1 Struktur Sepingga P Platform

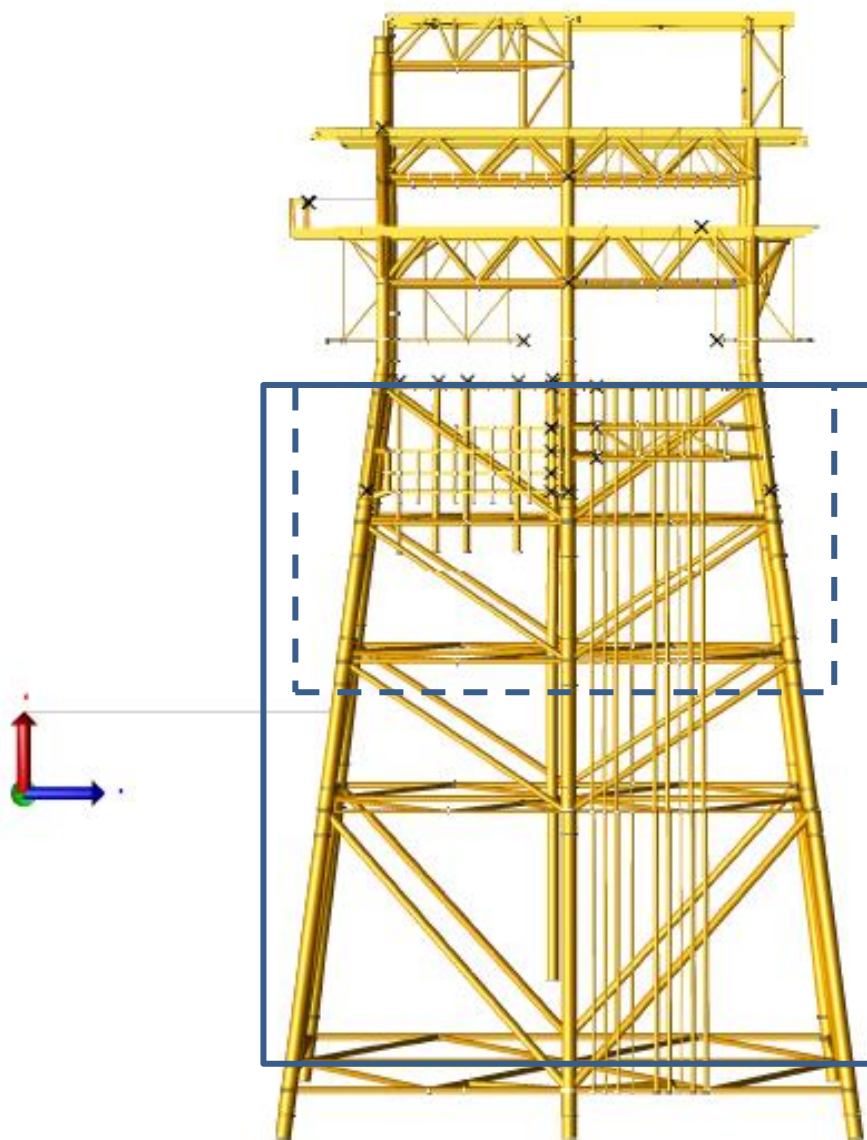


Gambar 4.2 Tampak Atas Struktur Sepingga P

4.1.2 Pemodelan Struktur Sepingga P Platform dengan Pemberian Korosi

Pemodelan struktur Sepingga P *platform* dengan korosi tetap dengan menggunakan perangkat lunak SACS 5.7. Terdapat 6 variasi korosi yang diberikan, 3 variasi korosi pada seluruh jacket yaitu $1/8''$, $1/16''$ dan $1/32''$ serta 3 variasi korosi ($1/8''$, $1/16''$ dan $1/32''$) hanya pada daerah *splash zone*. Letak daerah *splash zone* dan daerah *jacket* ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Perbedaan korosi mempengaruhi perbedaan pada OD dan WT, dalam hal ini semakin besar korosi maka semakin besar pula penipisan WT dan semakin kecil OD. Daerah yang mengalami korosi dibagi menjadi dua yaitu *splash zone* (korosi dalam hal ini penipisan WT hanya terjadi pada bagian *splash zone*) dan seluruh bagian *jacket* (korosi dalam hal ini penipisan WT terjadi diseluruh bagian *jacket* yang tercelup air). Adapun *group member* yang berada di daerah *splash zone* maupun *jacket* (yang tercelup air) ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.



Keterangan:



Korosi pada daerah
splash zone



Korosi pada daerah
jacket

Gambar 4.3 Letak Pemberian Variasi Korosi pada Sepinggan P

Tabel 4.1 *Group Member* pada Daerah *Splash Zone*

| GRUP MEMBER | | | |
|-------------|-----|-----|-----|
| BB1 | H42 | JW5 | D42 |
| BB2 | H43 | JW6 | D43 |
| BL1 | H44 | LG4 | H41 |
| BL2 | H45 | LG5 | JW3 |
| BL4 | J10 | LG6 | JW4 |
| CS3 | J11 | LG7 | RG1 |
| CS4 | JW1 | LGA | RP1 |
| D41 | JW2 | LGB | RP2 |
| RP3 | | | |

Tabel 4.2 *Group Member* pada Bagian *Jacket*

| GRUP MEMBER | | | |
|-------------|-----|-----|-----|
| C2 | LG1 | J10 | H31 |
| C30 | LG2 | J11 | H32 |
| CS1 | LG3 | JW1 | HB3 |
| CS2 | BB1 | JW2 | HB5 |
| D11 | BB2 | JW3 | LG0 |
| D12 | BL1 | JW4 | H42 |
| D21 | BL2 | JW5 | H43 |
| D22 | BL4 | JW6 | H44 |
| D31 | CS3 | LG4 | H45 |
| D32 | CS4 | LG5 | RG1 |
| H11 | D41 | LG6 | RP1 |
| H12 | D42 | LG7 | RP2 |
| H21 | D43 | LGA | RP3 |
| H22 | H41 | LGB | |

4.2 Validasi Model

Validasi model struktur dilakukan untuk memeriksa kesesuaian antara pemodelan struktur dengan kondisi struktur asli di lapangan. Verifikasi yang dilakukan berupa komparasi *output* pemodelan struktur yang dimodelkan sendiri dalam hal ini struktur sebelum diberi variasi korosi dengan *output* pemodelan struktur yang dilakukan perusahaan yang sudah tersaji dalam bentuk *report*. Hasil dari validasi model memaparkan perbedaan atau selisih *error* dari parameter yang ditinjau yaitu nilai *selfweight* dan periode natural, antara struktur aslinya dengan hasil pemodelan struktur. Hasil komparasi *selfweight* dan periode natural model dengan *selfweight* dan periode natural *report* disajikan dalam Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Validasi *Selfweight* dan Periode Natural

| Validasi | Model | Report | Selisih |
|--------------------------|-----------|---------|----------|
| <i>Selfweight</i> (kips) | 1593,8732 | 1579,69 | 0,89785% |
| Periode Natural (s) | 1,766 | 1,718 | 2,79395% |

Nilai persentase selisih *selfweight* dan periode natural struktur seperti yang ditampilkan Tabel 4.1 masih memenuhi batas toleransi *error*, yakni 5% (Fauzi,2016). Persentase selisih tersebut terjadi karena ketidaktelitian dalam pemodelan struktur berdasarkan data struktur yang sebenarnya.

4.3 Penentuan Sambungan (*Joint*) Kritis

Dalam tugas akhir ini, sambungan (*joint*) kritis ditentukan berdasarkan hasil *running fatigue* pada struktur Sepinggian P Platform.

4.4 Analisis *Fatigue*

Analisis *Fatigue* dilakukan dengan bantuan *software* SACS 5.7 untuk mendapatkan nilai *fatigue damage* dari tiap-tiap *joint* pada struktur.

4.4.1 Periode Natural Struktur

Periode getar struktur (*fundamental period*), biasa disimbolkan dengan T merupakan properti yang sangat penting untuk diketahui dalam proses perancangan struktur. Periode getar T adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode getar juga sering disebut secara lengkap dengan periode getar alami struktur (*natural fundamental period*). Secara umum periode natural struktur didapatkan melalui:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana

m = massa struktur

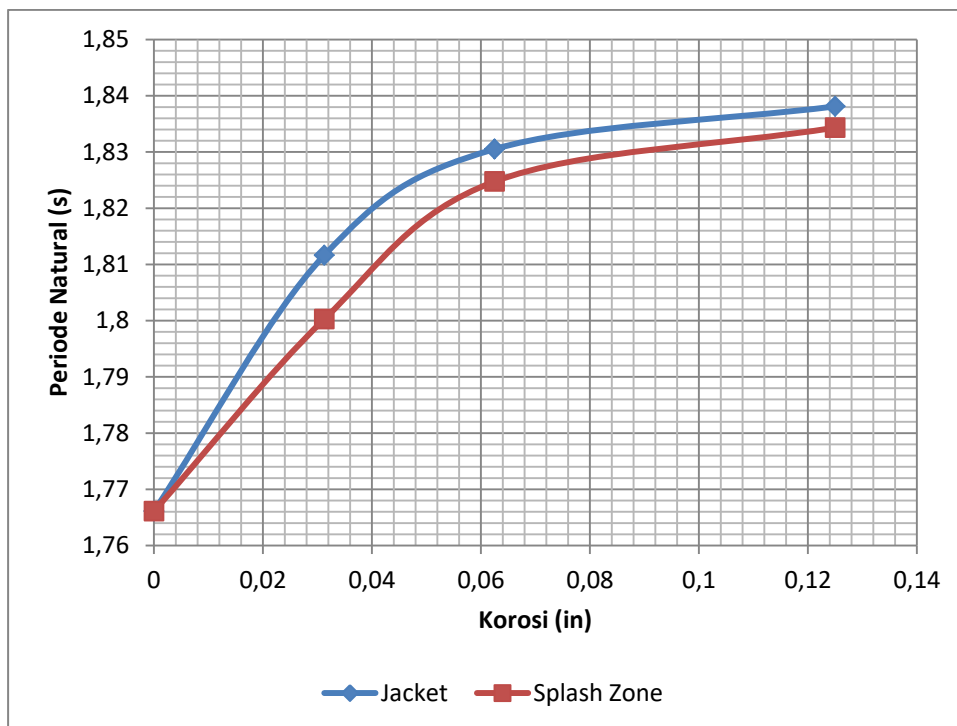
k = kekakuan struktur

Sehingga didapatkan periode natural pada kondisi tanpa korosi adalah 1,766 s. Selanjutnya dilakukan kembali perhitungan periode natural dengan menggunakan beberapa variasi korosi. Hasil periode natural dari setiap korosi ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Periode Natural dari Setiap Variasi Korosi

| Variasi | Periode Natural (s) |
|----------------------------|---------------------|
| Tanpa Korosi | 1,766 |
| Korosi 1/8" <i>jacket</i> | 1,838 |
| Korosi 1/16" <i>jacket</i> | 1,830 |
| Korosi 1/32" <i>jacket</i> | 1,811 |
| Korosi 1/8" <i>splash</i> | 1,834 |
| Korosi 1/16" <i>splash</i> | 1,824 |
| Korosi 1/32" <i>splash</i> | 1,800 |

Dari hasil perhitungan periode natural pada setiap variasi korosi dapat dihasilkan grafik pengaruh penambahan korosi terhadap periode natural yang ditunjukkan pada Grafik 4.1



Grafik 4.1 Pengaruh Variasi Penambahan Korosi terhadap Periode Natural di Daerah *Jacket* dan *Splash Zone*

Dari Grafik 4.1 menunjukkan bahwa semakin besar penambahan korosi semakin besar pula nilai periode naturalnya (T), hal ini terjadi karena setiap penambahan korosi harga massa struktur (m) dan kekakuan struktur (k). Semakin besar harga periode natural (T) artinya waktu yang diperlukan struktur kembali keposisi setimbang akibat gangguan semakin besar.

Ditunjukkan pula bahwa periode natural pada korosi seluruh jacket memiliki harga periode natural yang lebih besar dari pada korosi hanya di daerah *splash zone*. Periode natural terbesar sebesar 1,838 s terdapat pada struktur dengan penambahan korosi 1/8 in pada seluruh daerah jacket.

4.4.2 Stress Concentration Factors

SCF merupakan faktor konsentrasi tegangan pada titik pemusatan tegangan (*Hot spot stress*). Biasanya lokasi *hot spot stress* adalah pada sambungan (*chord-brace intersection*) dimana terjadi perubahan geometri yang mendadak. Perubahan geometri yang mendadak mengakibatkan terjadinya konsentrasi

tegangan (*stress concentration*). Selain itu juga merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan yang nilainya akan berbeda tergantung geometrinya.

SCF diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan Efthymiou untuk semua sambungan *tubular joint* yang digenerate oleh software SACS 5.7 . Persamaan Efthymiou dipilih karena merupakan pendekatan SCF yang direkomendasikan oleh code API RP 2A untuk *unstiffened welded tubular joint*.

Dalam menggunakan metode SCF persamaan Efthymiou ini, harus dipenuhi syarat *Validity Range of Parameter* nya terlebih dahulu. *Validity Range of Parameter Efthymiou Equation* ditunjukkan pada Gambar 4.4 berikut.

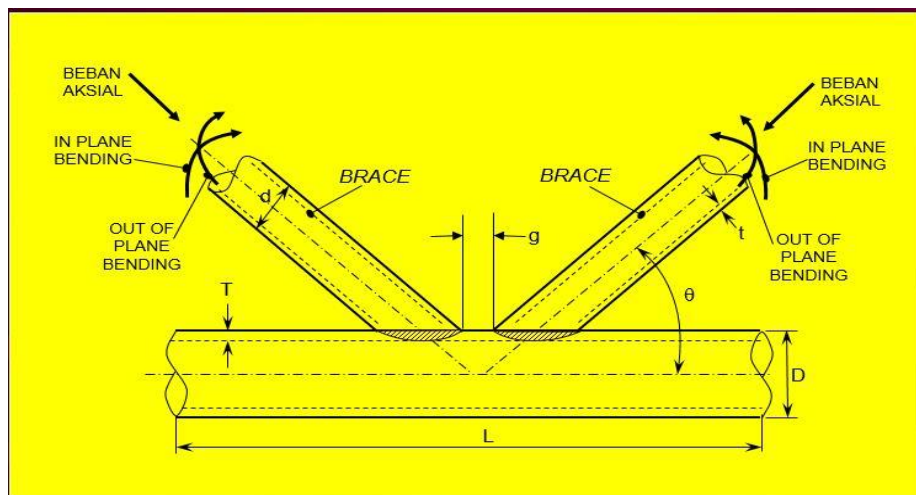
| Joint Type | Load Case | Validity Range of Parameters | | | | |
|------------|-----------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|----------------------------|
| K | Axial | $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ | $10 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ | $0.04 \leq \zeta \leq 0.2$ |
| | IPB | $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ | $10 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ(2)$ | $0.04 \leq \zeta \leq 0.2$ |
| | OPB | $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ | $10 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ | $0.04 \leq \zeta \leq 0.2$ |
| X | Axial | $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ | $10 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $50^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ | |
| | IPB | $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ | $15 \leq \gamma \leq 30(3)$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ(4)$ | |
| | OPB | $0.2 \leq \beta \leq 1.0$ | $15 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $50^\circ \leq \theta \leq 90^\circ(5)$ | |
| Y | Axial | $0.3 \leq \beta \leq 1.0$ | $15 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ | |
| | IPB | $0.3 \leq \beta \leq 1.0$ | $15 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $60^\circ \leq \theta \leq 90^\circ(6)$ | |
| | OPB | $0.3 \leq \beta \leq 1.0$ | $15 \leq \gamma \leq 30$ | $0.3 \leq \tau \leq 1.0(1)$ | $30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ | |

Notes:

1. For all joint and load types, the formulations can be used for lower τ ratios by setting $\tau = 0.3$.
2. For K IPB, the formulation is conservative for $\theta \leq 45^\circ$.
3. For X IPB, indicated γ limits reflect the available data which demonstrates that γ does not appear to affect R.
4. No θ data exist for X IPB, extrapolation of K joint behaviour assumed.
5. No θ data exist for X OPB, X axial behaviour assumed (similarity of OPB and axial behaviour is observed for K joints).
6. The Y IPB R formulation becomes unreliable for low θ angles.

Gambar 4.4 *Validity Range of Parameter Efthymiou Equation*

Untuk menentukan *Validity Range of Parameter Efthymiou Equation*, maka harus dilakukan analisa parameter *tubular joint* untuk tiap sambungan yang ditinjau. Parameter *tubular joint* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Parameter *Tubular Joint*

Parameter utama :

- L = panjang *chord*
 D = diameter terluar *chord*
 d = diameter terluar *brace*
 T = tebal *chord*
 t = tebal *brace*
 g = jarak ujung ke ujung antar *brace*

Parameter turunan :

- α = $2L/D$
 τ = t/T
 β = d/D
 ξ = g/D
 γ = $D/2T$
 θ = Sudut antara *brace* dan *chord*

Joint yang ditinjau adalah *joint* terkritis pada struktur Sepinggang P yaitu *joint* 4101 pada setiap variasi korosi. Hasil analisa parameter turunan untuk *joint* 4101 ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Analisa Parameter Turunan *Joint* 4101 pada Setiap Variasi Korosi

| <i>Joint</i> | α | τ | β | ξ | γ | keterangan |
|-----------------------|----------|--------|---------|-------|----------|------------|
| 4101 | 15,703 | 1,000 | 0,911 | - | 18,667 | memenuhi |
| 4101 (korosi 1/8 in) | 15,988 | 1,000 | 0,909 | - | 27,500 | memenuhi |
| 4101 (korosi 1/16 in) | 15,844 | 1,000 | 0,910 | - | 22,200 | memenuhi |
| 4101 (korosi 1/32 in) | 15,773 | 1,000 | 0,910 | - | 20,273 | memenuhi |

Dari hasil analisa, didapatkan bahwa parameter turunan dari *joint* yang ditinjau memenuhi *Validity Range of Parameter Efthymiou Equation* sehingga

metode perhitungan *Stress Concentration Factor* Efthymiou dapat digunakan pada analisa sambungan tubular *joint* yang ditinjau ini. Nilai *Stress Concentration Factor* didapatkan pada hasil keluaran pada SACS dengan input yang sudah disesuaikan dengan parameter formulasi SCF serta kurva S-N yang digunakan.

4.4.3 *Fatigue Damage*

Dari analisis *fatigue* dapat ditentukan sambungan kritis pada struktur dengan ditunjukkan nilai *fatigue damage* tertinggi. Dari nilai tersebut dapat dikatakan bahwa *joint* yang memiliki nilai *fatigue damage* tertinggi mengalami beban siklis terbesar diantara *joint* lainnya dan semakin besar *fatigue damagenya* maka *service life* semakin kecil .

Service life merupakan umur operasi struktur dengan mempertimbangkan umur kelelahan dan *safety factor* yang diberikan. Perhitungan *Service life* berdasarkan umur kelelahan ditunjukkan pada persamaan 4.2. Berdasarkan API RP 2A, *safety factor* (sf) yang diberikan adalah 2.

$$Service\ life\ (tahun) = \frac{Fatigue\ Life\ (tahun)}{sf} \dots\dots\dots(4.2)$$

Ringkasan *service life* dan *fatigue damage* dapat dilihat pada Tabel 4.6 hingga Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.6 *Fatigue Damage* dan *Service Life* (Tanpa Korosi)

| <i>Joint</i> | <i>Member</i> | Tanpa Korosi | |
|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> |
| 4101 | 422-4101 | 61,5 | 0,4765 |
| 3101 | 3100-3101 | 62,0 | 0,4134 |
| 478 | 478-420 | 68,7 | 0,3719 |

Pada Tabel 4.6 merupakan hasil dari analisa *fatigue* pada 3 *joint* terkritis struktur tanpa ada korosi, dari hasil analisa menunjukkan bahwa *damage* terbesar terjadi pada *joint* 4101 dengan *service life* 61,5 tahun.

Tabel 4.7 *Fatigue Damage* dan *Service Life* pada Korosi Daerah *Jacket*

| <i>Joint</i> | <i>Member</i> | Korosi 1/8 in (<i>jacket</i>) | | Korosi 1/16 in (<i>jacket</i>) | | Korosi 1/32 in (<i>jacket</i>) | |
|--------------|---------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> |
| 4101 | 422-4101 | 36,1 | 0,8715 | 37,2 | 0,8460 | 42,5 | 0,6289 |
| 3101 | 3100-3101 | 36,3 | 0,8665 | 37,5 | 0,8094 | 43,1 | 0,6111 |
| 478 | 478-420 | 41,8 | 0,6878 | 46,7 | 0,5974 | 49,3 | 0,4946 |

Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil dari analisa *fatigue* pada 3 *joint* terkritis struktur dengan beberapa varisi korosi pada daerah *jacket*. Hasil analisa menunjukkan bahwa *damage* terbesar terjadi pada *joint* 4101 dengan korosi 1/8 in (*jacket*) dimana memiliki *service life* sebesar 36,1 tahun.

Tabel 4.8 *Fatigue Damage* dan *Service Life* pada Korosi Daerah *Splash Zone*

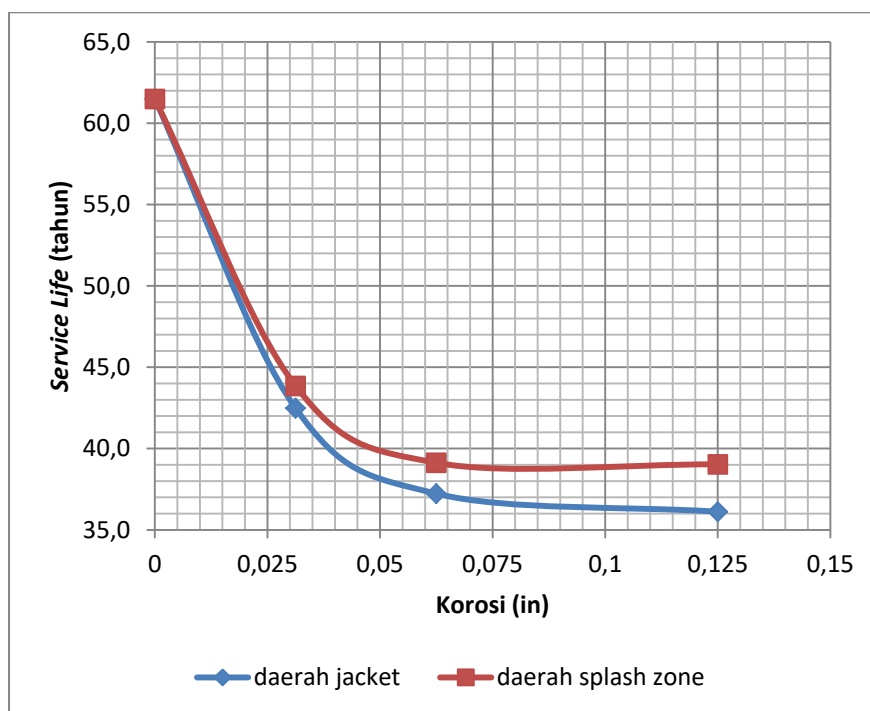
| <i>Joint</i> | <i>Member</i> | Korosi 1/8 in (<i>splash</i>) | | Korosi 1/16 in (<i>splash</i>) | | Korosi 1/32 in (<i>splash</i>) | |
|--------------|---------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|
| | | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> | <i>Service Life</i> (tahun) | <i>Fatigue Damage</i> |
| 4101 | 422-4101 | 39,0 | 0,7492 | 39,1 | 0,7395 | 43,9 | 0,6055 |
| 3101 | 3100-3101 | 39,7 | 0,7146 | 39,7 | 0,7239 | 44,3 | 0,6606 |
| 478 | 478-420 | 43,5 | 0,6063 | 48,7 | 0,5792 | 50,7 | 0,4826 |

Pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil dari analisa *fatigue* pada 3 *joint* terkritis struktur dengan beberapa varisi korosi pada daerah *splash zone*. Hasil analisa menunjukkan bahwa *damage* terbesar terjadi pada *joint* 4101 dengan korosi 1/8 in (*splash zone*) dimana memiliki *service life* sebesar 39 tahun.

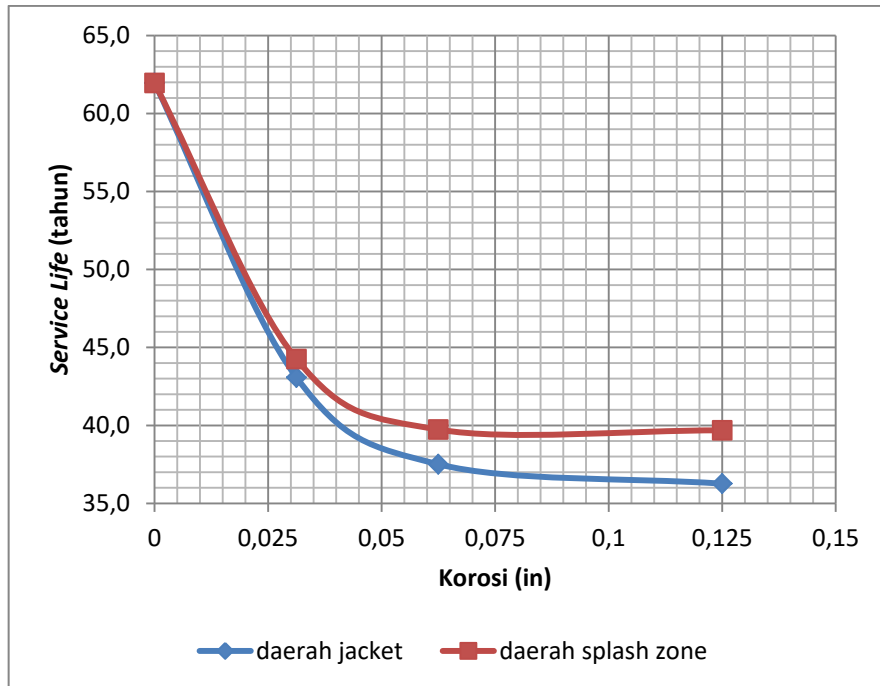
Dari tabel 4.6 hingga 4.8 dapat disimpulkan bahwa semakin besar *korosi* maka semakin besar pula nilai dari *fatigue damage* . Selain itu diketahui *joint* terkritis dari Sepinggian P ada pada *joint* 4101 dengan *korosi* 1/8 inch di daerah *jacket*, dengan nilai *fatigue damage* terbesar yaitu 0,8715 sekaligus memiliki *service life* struktur terendah yaitu 36,1 tahun.

Service life struktur Sepingga P dengan meninjau pada *joint* terkritis baik dalam kondisi non korosi maupun kondisi korosi melebihi *design life* (25 tahun), sehingga struktur Sepingga P masih mampu beroperasi untuk beberapa tahun mendatang setelah melampaui umur operasi yang direncanakan

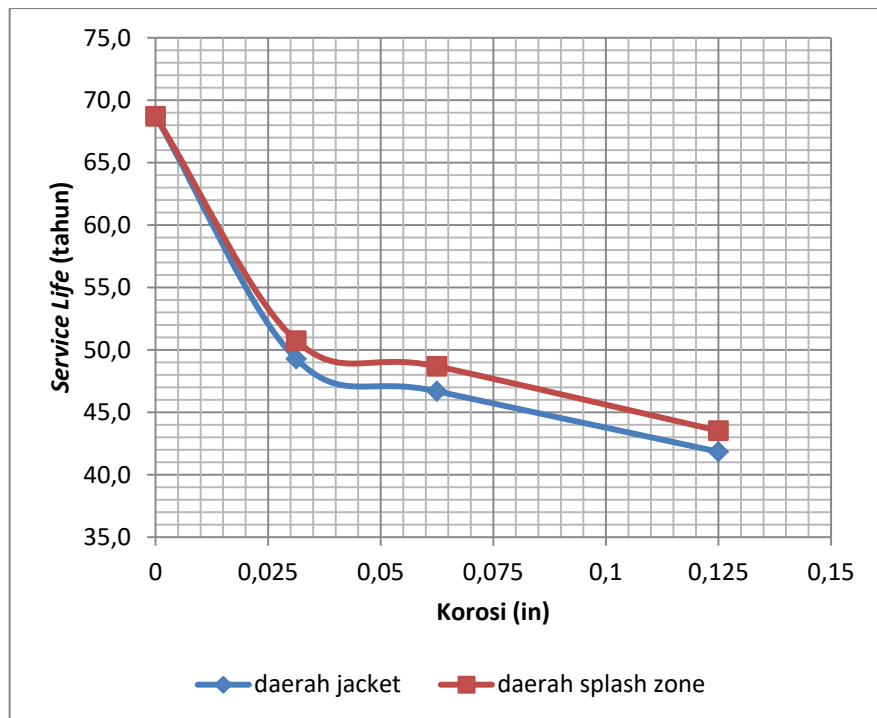
Dari analisa diatas didapatkan pula grafik pengaruh penambahan korosi terhadap *service life* dari setiap *member* yang dianalisa yang ditunjukkan pada Grafik 4.2 hingga 4.4, dimana pada *member* yang sama, semakin besar penambahan korosi semakin kecil *service life* nya.



Grafik 4.2 Pengaruh Penambahan Korosi terhadap *Service Life* pada *Joint* 4101



Grafik 4.3 Pengaruh Penambahan Korosi terhadap *Service Life* pada *Joint* 3101

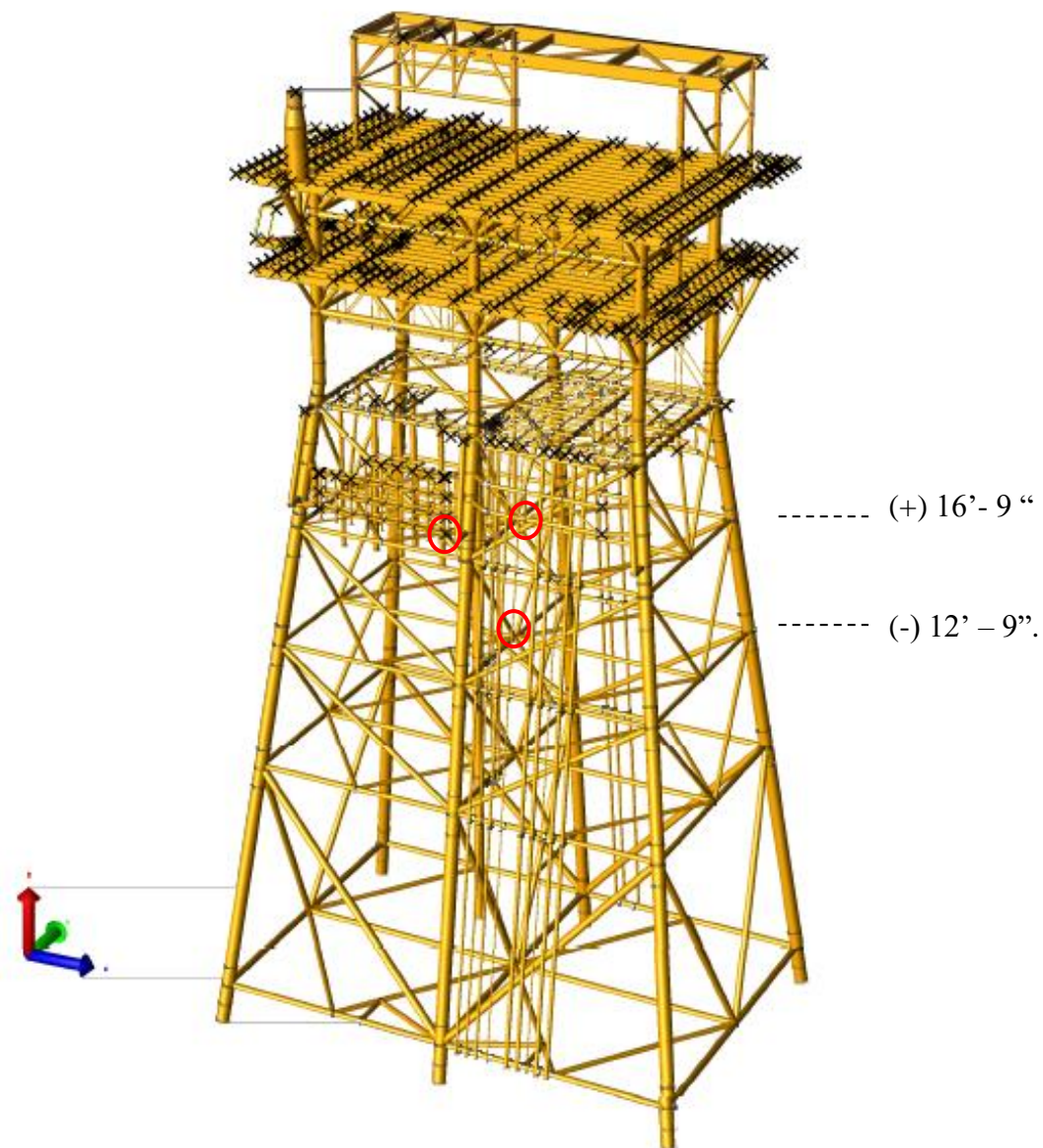


Grafik 4.4 Pengaruh Penambahan Korosi terhadap *Service Life* pada *Joint* 478

Joint 4101,3101 dan 478 merupakan 3 (tiga) *joint* terkritis pada struktur Sepinggan P dimana memiliki nilai *fatigue damage* terbesar dan *service life*

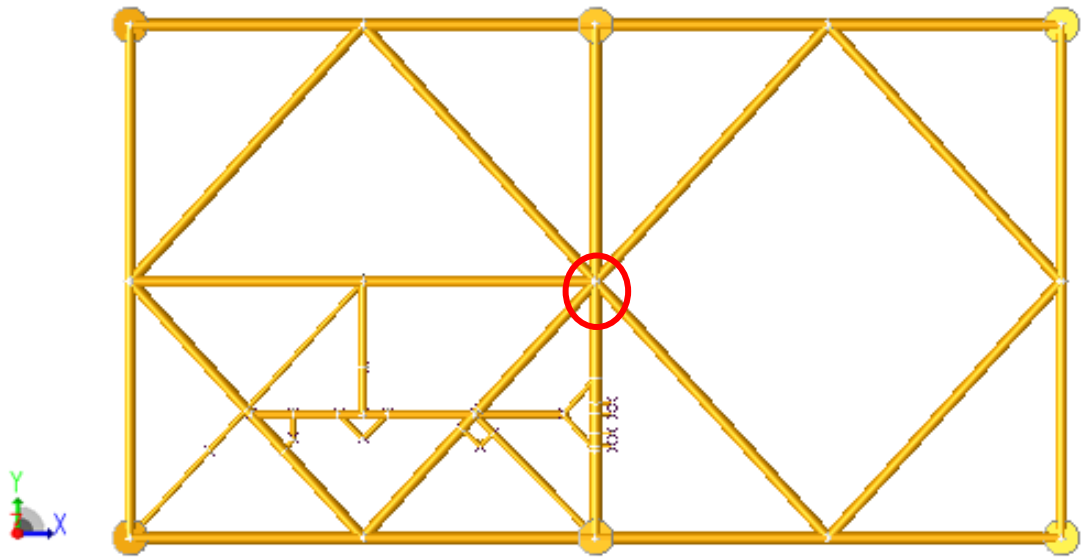
terkecil. Ketiganya berada di daerah *splash zone* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Joint 4101 dan 478 berada pada Elevasi (+) 16'- 9", sedangkan *joint* 3101 berada pada elevasi (-) 12' - 9".

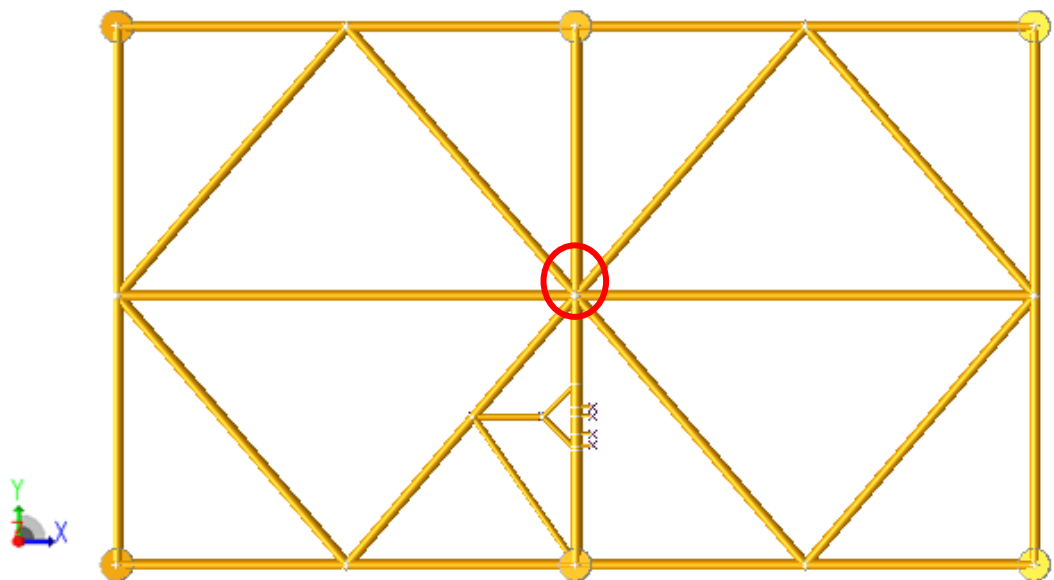


Gambar 4.6 Letak Member Terkritis pada Struktur Sepinggian P

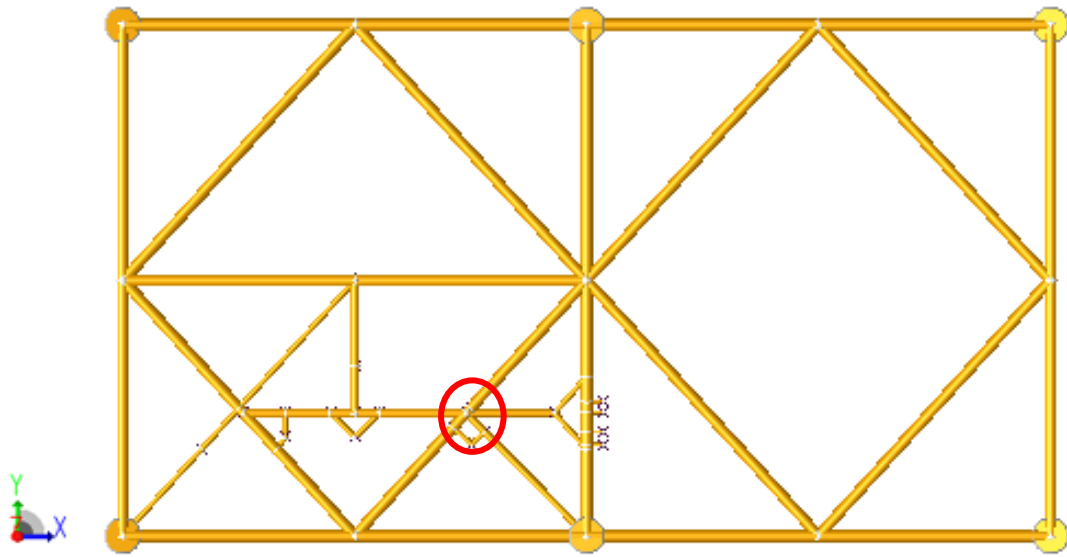
Sedangkan detail letak dari ketiga *joint* pada setiap elevasi pada Sepinggian P dapat dilihat pada Gambar 4.7 hingga Gambar 4.9.



Gambar 4.7 Letak *Joint* 4101



Gambar 4.8 Letak *Joint* 3101



Gambar 4.9 Letak Joint 478

4.5 Analisis Keandalan

4.5.1 Moda Kegagalan

Hal yang pertama kali dilakukan dalam analisis keandalan adalah menentukan moda kegagalan. Dalam hal ini moda kegagalan yang ditinjau adalah *cumulative damage* dari struktur akibat beban *cyclic*.

$$MK = S - L \dots\dots\dots(4.3)$$

Persamaan 4.3 adalah persamaan umum dari persamaan moda kegagalan, dimana S (*strength*) adalah variabel kekuatan dan L (*load*) adalah variabel beban. Untuk analisa keandalan berbasis *fatigue*, moda kegagalan yang digunakan digambarkan dalam sebuah formulasi ambang keselamatan oleh kelelahan yang ditunjukkan pada persamaan 4.4.

$$g(x) = \Delta - D \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana Δ adalah variabel dari *strength* dalam hal ini adalah *damage limit* dari struktur, sedangkan D adalah variabel dari *load* dalam hal ini adalah *cumulative damage* yang terjadi selama operasi. Berdasarkan pada *ABS Fatigue Assesment of Offshore Struktur*, *Cumulative damage (Closed Form Fatigue Equation)* dapat diformulasikan seperti pada persamaan 4.5.

$$D = \frac{n_o}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_o)^{m/\xi}} \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right) \dots\dots\dots (4.5)$$

Dimana

- n_o = Jumlah siklus beban yang terjadi selama operasi
- A = *Intercept* pada kurva SN
- M = Kemiringan pada kurva SN
- S_e = Tegangan Ekstrem (Mpa)
- ξ = Parameter weibull

Dengan mensubtitusikan persamaan 4.5 ke persamaaan 4.4, didapat formulasi moda kegagalannya, yang ditunjukkan pada persamaan 4.6.

$$g(x) = \Delta - \frac{n_o}{A} \frac{S_e^m}{(\ln n_o)^{m/\xi}} \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right) \dots\dots\dots (4.6)$$

Sedangkan nilai gamma dicari dengan menggunakan Persamaan 4.7, yaitu:

$$\Gamma(x) \cong 0.0076e^{(1.6x) + 1.26} \dots\dots\dots (4.7)$$

Struktur akan gagal jika nilai $MK \leq 0$, sebaliknya struktur dikatakan sukses apabila $MK > 0$.

4.5.2 Variabel Acak

Setelah moda kegagalan ditentukan, berikutnya adalah menentukan variabel acak. Variabel acak ini berasal dari variabel-variabel persamaan moda kegagalan (persamaan (4.5)) yang memiliki ketidak pastian. Ketidakpastian ini yang digunakan untuk menggambarkan peluang kegagalan .

Dari persamaan moda kegagalan akibat kelelahan, terdapat beberapa variabel yang memiliki ketidakpastian yang digunakan sebagai variabel acak. Variabel acak yang digunakan terdiri dari 6 variabel acak. Variabel tersebut terdiri dari komponen Δ , n_o , A , m , S_e dan ξ . Setiap variabel acak dalam formulasi moda kegagalan memiliki COV dan distribusi tertentu. Seperti tertera pada tabel 4.9, nilai COV merujuk pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti disebutkan oleh Naess (1985) dalam Djatmiko (2003)

Tabel 4.9 Parameter Moda Kegagalan

| Variabel | COV | Distribusi |
|----------|------|------------|
| n_o | 0,05 | lognormal |
| A | 0,31 | lognormal |
| m | 0,03 | normal |
| S_e | 0,2 | lognormal |
| ξ | 0,05 | lognormal |
| Δ | 0,6 | lognormal |

4.5.2.1 Fatigue Limit

Untuk *fatigue limit* (Δ) diambil acuan dari *ABS Guide For The Fatigue Assessment of Offshore Structures* (2003). *safety factor* yang digunakan adalah 1, Sehingga didapatkan *fatigue limit* (Δ) adalah 1

4.5.2.2 Jumlah Siklus

Jumlah siklus beban yang terjadi selama operasi (n_o) diperoleh dari hasil output SACS, sebesar $1,7 \times 10^7$ siklus.

4.5.2.3 Tegangan Ekstrem

Tegangan Ekstrem (S_e) yang digunakan dalam perhitungan adalah tegangan maksimum ditegangan tertentu pada sambungan (*hot spot stress*) yang diperoleh dari perkalian tegangan nominal (S_{nom}) dengan faktor konsentrasi tegangan (SCF). Sehingga tegangan maksimum dapat dihitung dalam analisa berikut ini

$$S_e = S_{nom} \times SCF \dots\dots\dots(4.8)$$

Tegangan nominal (S_{nom}) dan SCF didapat dari output analisa *fatigue*. Dari persamaan 4.8, dihasilkan tegangan ekstrem untuk setiap member dengan berbagai variasi korosi yang ditunjukkan pada tabel 4.10 .

Tabel 4.10 Tegangan Ekstrim pada Setiap Variasi Korosi

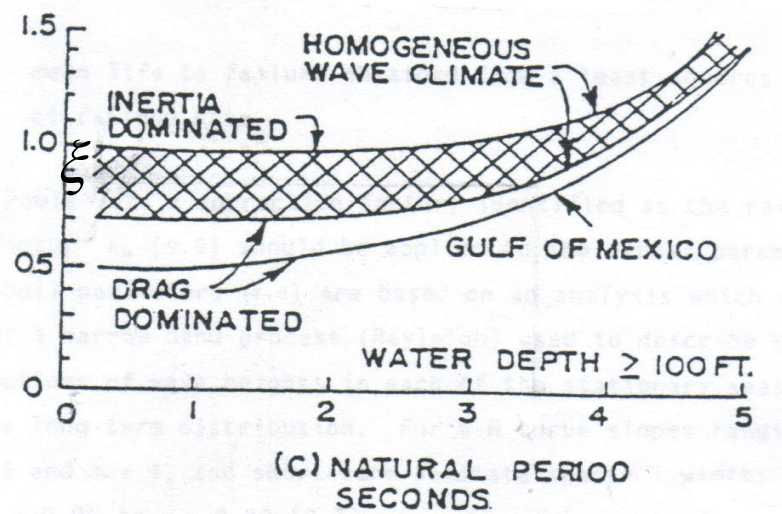
| Variasi | Daerah Korosi | Joint | Member | S _e (MPa) |
|--------------|---------------|-------|-----------|----------------------|
| Tanpa Korosi | - | 4101 | 422-4101 | 142,713 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 140,201 |
| | | 478 | 478-420 | 134,761 |
| Korosi 1/32" | Splash Zone | 4101 | 422-4101 | 160,290 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 158,197 |
| | | 478 | 478-420 | 154,012 |
| | Jacket | 4101 | 422-4101 | 163,638 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 161,127 |
| | | 478 | 478-420 | 152,757 |
| Korosi 1/16" | Splash Zone | 4101 | 422-4101 | 172,427 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 171,171 |
| | | 478 | 478-420 | 154,012 |
| | Jacket | 4101 | 422-4101 | 201,723 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 200,467 |
| | | 478 | 478-420 | 156,105 |
| Korosi 1/8" | Splash Zone | 4101 | 422-4101 | 176,612 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 170,753 |
| | | 478 | 478-420 | 160,709 |
| | Jacket | 4101 | 422-4101 | 216,371 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 210,093 |
| | | 478 | 478-420 | 165,312 |

4.5.2.4 Kurva S-N

Untuk harga karakteristik S-N diambil sesuai dengan kurva S-N yang di pakai (Kurva X'-X' API RP2A-WSD), sehingga besar harga m adalah 3,74 dan A adalah $2,5 \times 10^{13}$.

4.5.2.5 Parameter Weibull

Besar harga parameter Weibull (ξ) ditentukan berdasarkan periode natural untuk struktur-struktur terpancang di *Gulf of Mexico* seperti yang terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Perhitungan Parameter Weibull (ξ)

Namun angka yang didapatkan tidak dapat dikatakan 100% benar karena penentuan dilakukan dengan mengacu pada kondisi perairan *Gulf of Mexico*. Oleh karena itu dilakukan verifikasi terhadap parameter Weibull dengan cara iterasi, yakni dengan membandingkan hasil perhitungan *fatigue damage* hasil output SACS dengan perhitungan *fatigue damage* dengan cara *Closed Form Fatigue Equation*.

Pada Struktur Sepinggang P tanpa korosi, dari output SACS didapat *fatigue damage* sebesar 0,4765. Setelah itu dilakukan komputasi iteratif dengan memakai persamaan 4.4 dengan memasukkan harga awal ξ , dan seterusnya dengan kenaikan tertentu hingga akhirnya diperoleh selisih antara kedua *fatigue damage* adalah 0 (nol). Tabel 4.11 menunjukkan perhitungan iteratif untuk mendapatkan harga ξ pada struktur tanpa korosi.

Tabel 4.11 Perhitungan Iteratif Parameter Weibull

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,4765 | 0,1 | 0,0000 | -0,48 |
| 0,4765 | 0,15 | 0,0000 | -0,48 |
| 0,4765 | 0,2 | 0,0000 | -0,48 |
| 0,4765 | 0,25 | 0,0000 | -0,48 |
| 0,4765 | 0,3 | 0,0001 | -0,48 |
| 0,4765 | 0,35 | 0,0007 | -0,48 |
| 0,4765 | 0,4 | 0,0035 | -0,47 |
| 0,4765 | 0,45 | 0,0125 | -0,46 |
| 0,4765 | 0,5 | 0,0342 | -0,44 |
| 0,4765 | 0,55 | 0,0780 | -0,40 |
| 0,4765 | 0,6 | 0,1554 | -0,32 |
| 0,4765 | 0,65 | 0,2786 | -0,20 |
| 0,4765 | 0,7 | 0,4602 | -0,02 |
| 0,4765 | 0,702 | 0,4689 | -0,01 |
| 0,4765 | 0,704 | 0,4765 | 0,00 |
| 0,4765 | 0,706 | 0,4866 | 0,01 |
| 0,4765 | 0,708 | 0,4956 | 0,02 |
| 0,4765 | 0,71 | 0,5047 | 0,03 |
| 0,4765 | 0,72 | 0,5521 | 0,08 |
| 0,4765 | 0,73 | 0,6024 | 0,13 |
| 0,4765 | 0,75 | 0,7127 | 0,24 |

Berdasarkan perhitungan iteratif di atas diperoleh besar harga parameter Weibull pada struktur Sepinggian P tanpa korosi adalah 0,704.

Parameter Weibull dari setiap variasi korosi berbeda – beda, hal ini dikeranakan dari setiap variasi korosi memiliki periode natural berbeda-beda. Iterasi parameter weibull untuk setiap variasi korosi di lampirkan pada lampiran. Parameter weibull untuk setiap variasi korosi ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Parameter Weibull pada Setiap Variasi Korosi

| Variasi | Daerah Korosi | ξ |
|--------------|---------------|-------|
| Tanpa Korosi | - | 0,704 |
| Korosi 1/32" | <i>Splash</i> | 0,710 |
| | <i>Jacket</i> | 0,703 |
| Korosi 1/16" | <i>Splash</i> | 0,687 |
| | <i>Jacket</i> | 0,635 |
| Korosi 1/8" | <i>Splash</i> | 0,678 |
| | <i>Jacket</i> | 0,614 |

4.5.2.6 Mean dan Standar Deviasi Variabel Acak

Mean μ dari suatu distribusi peluang adalah suatu ukuran kecenderungan tengah dalam distribusi itu, atau kecenderungan lokasi nilai dalam suatu distribusi. Standar Deviasi atau simpangan baku mengukur penyebaran atau pemencaran dalam populasinya yang dinyatakan dalam satuan asli suatu besaran. (Rosyid, 2007)

Mean pada setiap variabel acak diperoleh dengan cara yang berbeda-beda. Untuk jumlah siklus beban yang terjadi (no) didapat dari *output fatigue*, *Intercept* pada kurva SN (A) dan kemiringan pada kurva SN (M) diperoleh dari diagram SN, tegangan ekstrem (Se) didapatkan dengan menggunakan perhitungan dan Parameter weibull (ξ) didapatkan dari iterasi.

Standard deviasi pada distribusi normal diperoleh dengan mengalikan *mean* dengan CoV sesuai dengan variabelnya. Perhitungan moda kegagalan dilakukan pada tiga member terkritis pada setiap variasi korosi.

Pada distribusi lognormal, μ dan σ perlu ditransformasi menjadi parameter lognormal $\mu_{\ln(x)}$ dan $\sigma_{\ln(x)}^2$ dengan menggunakan persamaan 4.9, 4.10 dan 4.11.

$$\mu_{\ln(x)} = \ln \mu_x - \frac{1}{2} \ln(1 + V_x^2) \dots\dots\dots(4.9)$$

$$\sigma_{\ln(x)}^2 = \ln(1 + V_x^2) \dots\dots\dots(4.10)$$

$$V_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \dots\dots\dots(4.11)$$

Dimana

μ = mean

σ = standar deviasi

V = Coefficient of Varians

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 input data untuk formulasi moda kegagalan sudah terlengkapi, berikut input data variabel, distribusi, dan COV dari persamaan kelelahan terangkai pada kondisi tanpa korosi.

Tabel 4.13 Data Input Formulasi Moda Kegagalan pada Kondisi Tanpa Korosi pada Variabel Distribusi Normal

| Variabel | COV | μ | σ | Distribusi |
|-----------------|------------|-------|----------|-------------------|
| m | 0,03 | 3,74 | 0,1122 | normal |

Tabel 4.14 Data Input Formulasi Moda Kegagalan pada Kondisi Tanpa Korosi pada Variabel Distribusi Lognormal

| Variabel | COV | Parameter $\mu_{\ln(x)}$ | Parameter $\sigma_{\ln(x)}^2$ | Distribusi |
|-----------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------|
| n _o | 0,05 | 16,6725 | 0,04997 | lognormal |
| A | 0,31 | 30,804 | 0,30292 | lognormal |
| S _e | 0,2 | 4,94122 | 0,19804 | lognormal |
| ξ | 0,05 | -0,3522 | 0,04997 | lognormal |
| Δ | 0,6 | -0,1537 | 0,55451 | lognormal |

Selanjutnya variabel Se dan ξ diubah untuk setiap variasi korosi. Nilai dari Se dan ξ untuk setiap variasi korosi dijabarkan pada sub Bab 4.5.2.3 dan 4.5.2.5

4.5.3 Simulasi Monte Carlo

Dalam simulasi Monte Carlo adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh RNG menjadi peubah acak yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (fkp)-nya. Hal ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp uniform, sedangkan peubah acak dalam $MK(x)$ memiliki distribusi lognormal maupun distribusi normal. Transformasi angka acak menjadi peubah acak dalam MS. Excel dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi sebagai berikut :

- Distribusi Lognormal
=LOGNORMAL.INV(angka_acak; mean; standard_deviasi)
- Distribusi Normal
=NORMINV(angka_acak; mean; standard_deviasi)

Apabila angka acak telah ditransformasikan menjadi harga peubah acak. Langkah selanjutnya adalah simulasi masing-masing variabel dengan mengenerate random number berdasar distribusinya. Pada Tabel 4.15 menunjukkan variabel-variabel dari formulasi moda kegagalan yang sudah dilakukan simulasi dengan random number.

Tabel 4.15 Variabel-variabel yang Sudah Disimulasikan dengan *Random Number*

| <i>Random Number</i> | n_o |
|----------------------|----------|
| 0,976625316 | 19226904 |
| 0,219058262 | 16746675 |
| 0,151533478 | 16535054 |
| 0,402705067 | 17195273 |
| 0,318345637 | 17002199 |
| 0,662650581 | 17777200 |
| 0,911736320 | 18624511 |
| 0,586430743 | 17599249 |
| 0,109914613 | 16372999 |
| 0,795603369 | 18141817 |
| 0,948415158 | 18885179 |

| <i>Random Number</i> | A |
|----------------------|-----------|
| 0,036590235 | 4,361E+13 |
| 0,876267400 | 1,888E+13 |
| 0,799557786 | 1,748E+13 |
| 0,895827669 | 2,216E+13 |
| 0,735977877 | 2,07E+13 |
| 0,904257085 | 2,712E+13 |
| 0,676205922 | 3,596E+13 |
| 0,482192319 | 2,551E+13 |
| 0,701925240 | 1,647E+13 |
| 0,998841005 | 3,067E+13 |
| 0,817998575 | 3,912E+13 |

| <i>Random Number</i> | m |
|----------------------|-----------|
| 0,420277261 | 3,7174271 |
| 0,616776090 | 3,7733261 |
| 0,353592131 | 3,6978531 |
| 0,942286958 | 3,9166326 |
| 0,897286303 | 3,8820721 |
| 0,990903600 | 4,0049794 |
| 0,518377307 | 3,7451703 |
| 0,518781295 | 3,7452841 |
| 0,349162776 | 3,6965133 |
| 0,144174065 | 3,6208714 |
| 0,651745949 | 3,7837623 |

| <i>Random Number</i> | ξ |
|----------------------|-----------|
| 0,104174091 | 0,7765772 |
| 0,644005150 | 0,6764004 |
| 0,486431330 | 0,667853 |
| 0,335190577 | 0,6945194 |
| 0,393583661 | 0,686721 |
| 0,172938678 | 0,7180234 |
| 0,179093014 | 0,7522464 |
| 0,687622601 | 0,710836 |
| 0,688109288 | 0,6613076 |
| 0,878838895 | 0,7327504 |
| 0,478013851 | 0,7627749 |

| <i>Random Number</i> | S_e |
|----------------------|----------------------|
| 0,849507839 | 207,48134 |
| 0,897148565 | 120,02071 |
| 0,277683731 | 114,12136 |
| 0,413221483 | 133,27756 |
| 0,732254467 | 127,44445 |
| 0,189436337 | 152,07012 |
| 0,293986647 | 182,88926 |
| 0,762244697 | 146,12595 |
| 0,982008784 | 109,75247 |
| 0,216748497 | 164,8125 |
| 0,942108836 | 193,24654 |

| <i>Random Number</i> | Δ |
|----------------------|-----------|
| 0,122531907 | 2,5829759 |
| 0,993351971 | 0,5578309 |
| 0,447115905 | 0,4844101 |
| 0,690266732 | 0,7480036 |
| 0,599652686 | 0,6599076 |
| 0,185714475 | 1,0821948 |
| 0,205397351 | 1,8142929 |
| 0,510249241 | 0,9678756 |
| 0,156195660 | 0,4342564 |
| 0,193533695 | 1,3556703 |
| 0,818542970 | 2,1168625 |

Masing-masing variabel dari formulasi moda kegagalan disimulasikan sebanyak 50.000 kali.

4.5.4 Keandalan dan Peluang Kegagalan

Peluang kegagalan adalah rasio antara kejadian jumlah gagal dengan jumlah sampel atau replikasi, $P_{\text{gagal}} = n / N$. Langkah selanjutnya adalah mensubstitusikan hasil masing-masing variabel yang telah disimulasikan dengan menggenerate *random number* ke dalam persamaan formulasi moda kegagalan (persamaan 4.6).

Setelah dilakukan simulasi persamaan formulasi dari moda kegagalan sebanyak 50000 kali, kemudian dilihat berapa kali kegagalannya (*probability of failure*). Kondisi dikategorikan gagal apabila persamaan moda kegagalan mempunyai hasil lebih kecil dari nol ($g(x) < 0$). Tabel 4.16 menunjukkan nilai keandalan dari struktur Sepinggian P sebelum korosi dan setelah variasi korosi.

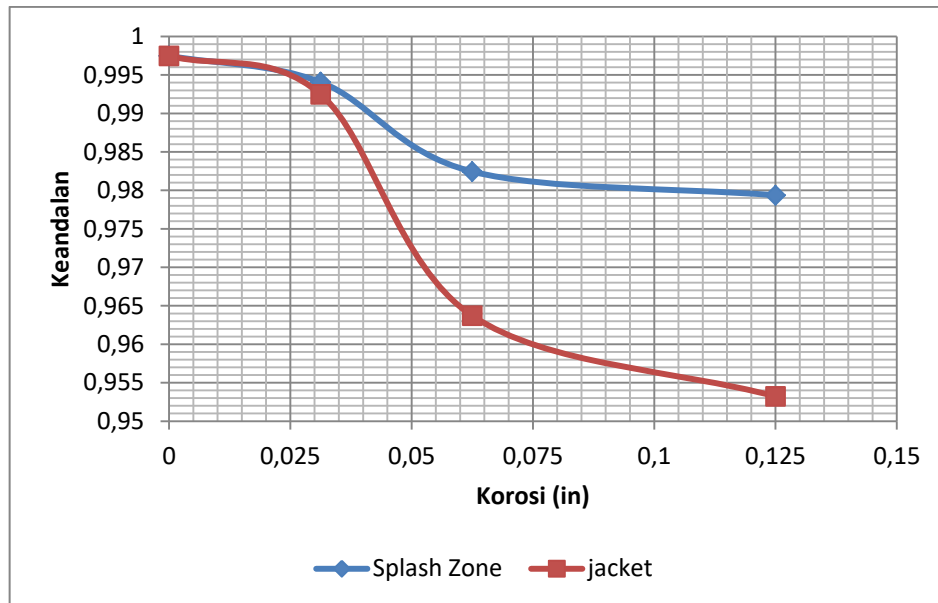
Tabel 4.16 Keandalan dan PoF dari Setiap Variasi Korosi

| Variasi | Daerah Korosi | Joint | Member | Keandalan | PoF |
|--------------|---------------|-------|-----------|-----------|---------|
| Tanpa Korosi | - | 4101 | 422-4101 | 0,99748 | 0,00252 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,99882 | 0,00118 |
| | | 478 | 478-420 | 0,99972 | 0,00028 |
| Korosi 1/32" | Splash Zone | 4101 | 422-4101 | 0,99406 | 0,00594 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,99464 | 0,00536 |
| | | 478 | 478-420 | 0,99884 | 0,00116 |
| | Jacket | 4101 | 422-4101 | 0,99248 | 0,00752 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,99398 | 0,00752 |
| | | 478 | 478-420 | 0,99850 | 0,0015 |
| Korosi 1/16" | Splash Zone | 4101 | 422-4101 | 0,98244 | 0,01756 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,9852 | 0,0148 |
| | | 478 | 478-420 | 0,99612 | 0,00388 |
| | Jacket | 4101 | 422-4101 | 0,96370 | 0,0363 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,96748 | 0,03252 |
| | | 478 | 478-420 | 0,99572 | 0,00428 |
| Korosi 1/8" | Splash Zone | 4101 | 422-4101 | 0,97936 | 0,02064 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,98500 | 0,015 |
| | | 478 | 478-420 | 0,98972 | 0,01028 |
| | Jacket | 4101 | 422-4101 | 0,95322 | 0,04678 |
| | | 3101 | 3100-3101 | 0,95590 | 0,0441 |
| | | 478 | 478-420 | 0,98758 | 0,01242 |

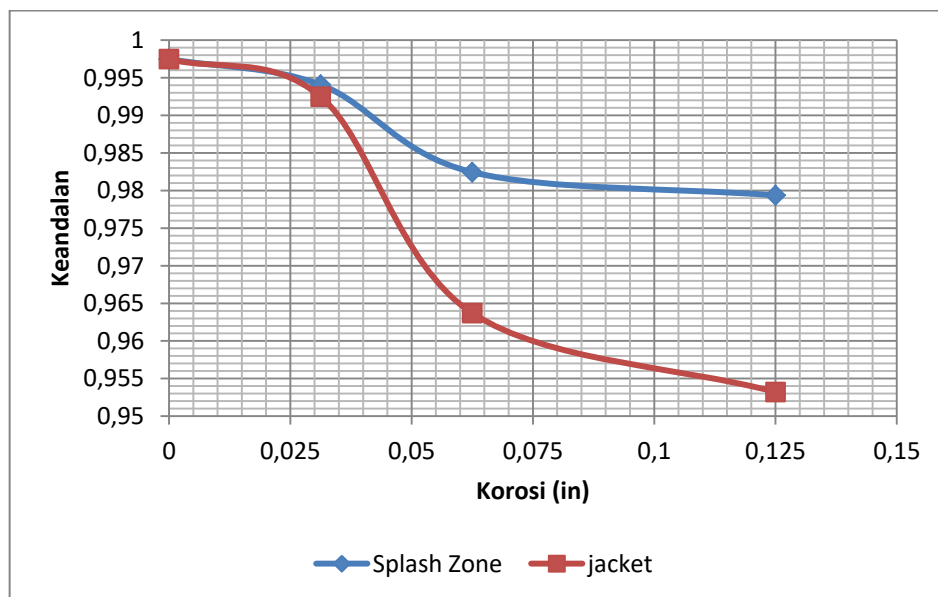
Apabila ditinjau dari tabel 4.19, dapat dilihat bahwa member terkritis dari setiap variasi korosi memiliki keandalan 0,9. Keandalan terkecil terdapat pada

joint 4101 dengan korosi 1/8 in di daerah *jacket* sebesar 0,95322 dan PoF sebesar 0,04678.

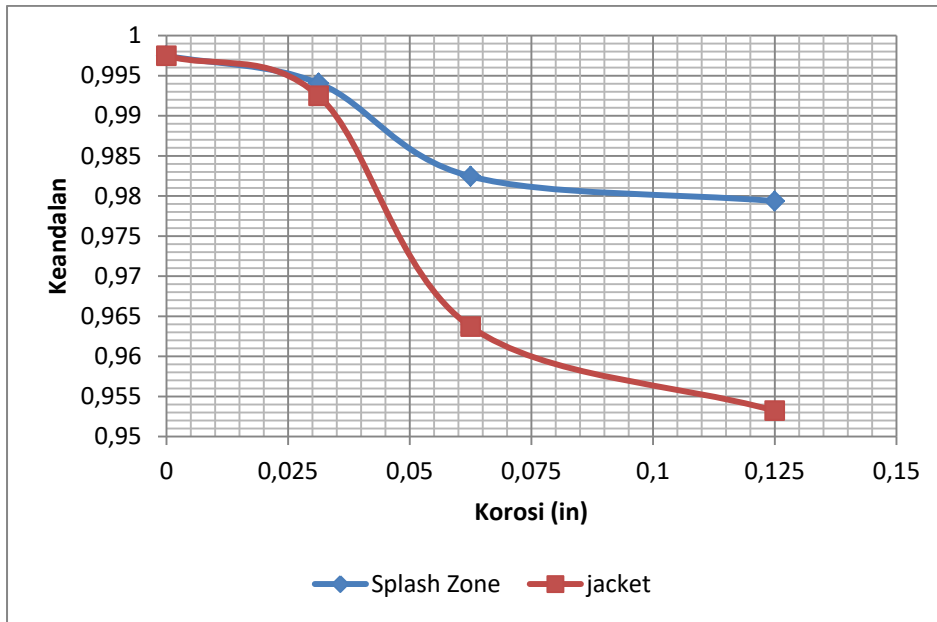
Dari perhitungan diatas didapatkan pula grafik pengaruh penambahan korosi terhadap Keandalan dari tiga *joint* terkritis yang dianalisa yang ditunjukkan pada Grafik 4.5 hingga Grafik 4.7, dimana pada *member* yang sama, semakin besar penambahan korosi semakin kecil keandalannya.



Grafik 4.5 Pengaruh Penambahan Korosi Terhadap Keandalan pada *Joint* 4101



Grafik 4.6 Pengaruh Penambahan Korosi Terhadap Keandalan pada *Joint* 3101



Grafik 4.7 Pengaruh Penambahan Korosi Terhadap Keandalan pada *Joint* 478

Cara lain yang dipakai dalam mengukur keandalan adalah dengan menggunakan indeks keandalan(β). Indeks keandalan bisa didapatkan dari pendekatan pangkat (persamaan 4.12).

$$PoF \cong 2 \times 10^{-\beta} \dots\dots\dots (4.12)$$

Struktur dianggap aman apabila indeks keandalan lebih besar atau sama dengan batas minimum target indeks keandalan yaitu 2,0. Indeks keandalan pada struktur Sepinggaan P pada kondisi non korosi adalah 2,9. Pada Tabel 4.17 menunjukkan indeks keandalan disetiap variasi korosi pada *joint* terkritis pada Sepinggaan P , dalam hal ini adalah joint 4101.

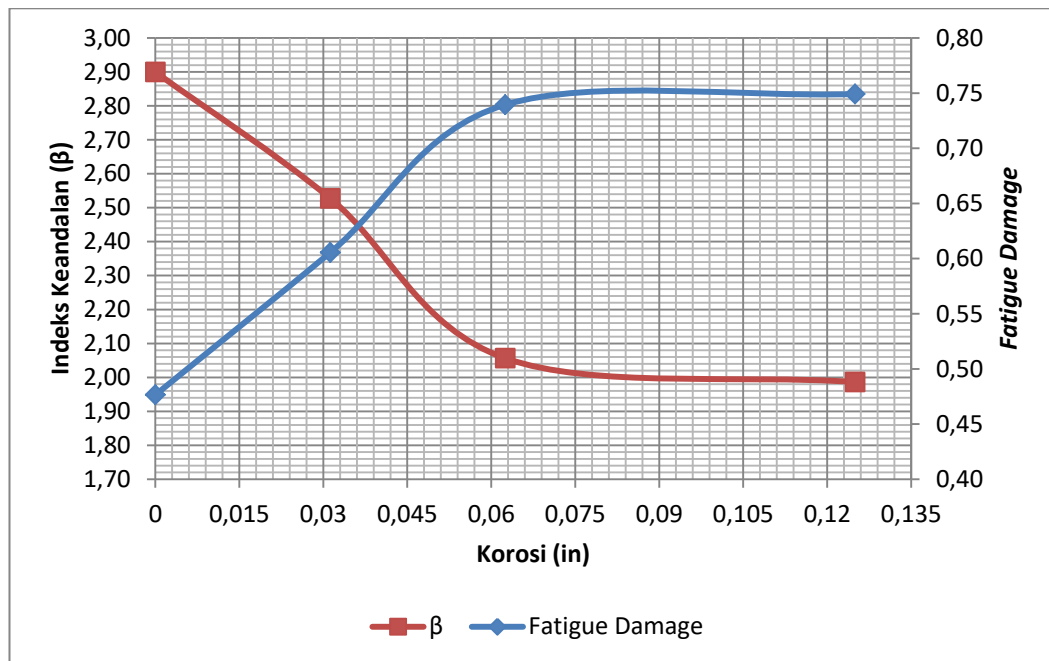
Tabel 4.17 Indeks Keandalan pada *Joint* 4101

| Variasi Korosi | Daerah <i>Splash Zone</i> | | Daerah <i>Jacket</i> | |
|-------------------|---------------------------|---------|-----------------------|---------|
| | <i>Fatigue Damage</i> | β | <i>Fatigue Damage</i> | β |
| 1/32 in | 0,61 | 2,53 | 0,63 | 2,42 |
| 1/16 in | 0,74 | 2,06 | 0,85 | 1,74 |
| 1/8 in | 0,75 | 1,99 | 0,87 | 1,63 |

Dari tabel 4.16 dapat disimpulkan bahwa kondisi yang bisa diterima ketika korosi pada daerah *splash zone* tidak melebihi 1/16 in atau ketika korosi pada

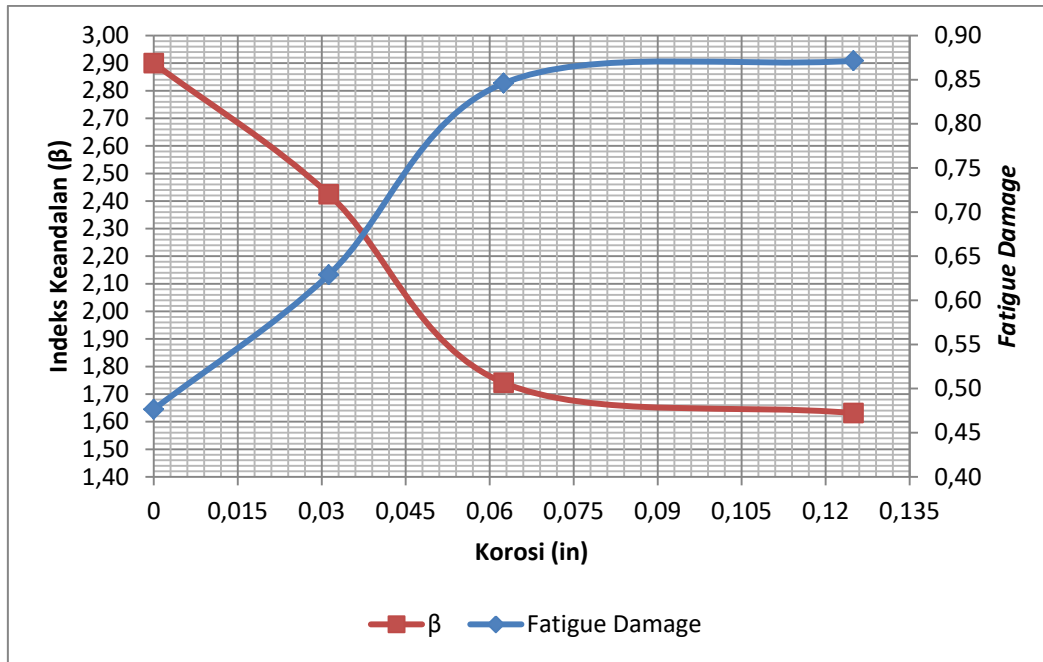
daerah *jacket* tidak melebihi 1/32 in, karena indeks keandalan pada kondisi tersebut masih diatas 2,0.

Dari Tabel 4.16 didapat pula grafik hubungan antara variasi korosi terhadap *fatigue damage* dan indeks keandalan yang ditunjukkan pada Grafik 4.8 dan 4.9.



Grafik 4.8 Hubungan Korosi pada Daerah *Splash Zone* Terhadap *Fatigue Damage* dan Indeks Keandalan

Dari Grafik 4.8 dapat disimpulkan bahwa pengaruh korosi terhadap *fatigue damage* dan indeks keandalan bertolak belakang. Semakin besar korosi yang terjadi pada daerah *splash zone* maka indeks keandalan akan semakin kecil sedangkan *fatigue damage* semakin besar dan semakin kecil korosi yang terjadi pada daerah *splash zone* maka indeks keandalan akan semakin besar sedangkan *fatigue damage* semakin kecil.



Grafik 4.9 Hubungan Korosi pada Daerah *Jacket* Terhadap *Fatigue Damage* dan Indeks Keandalan

Sama seperti kesimpulan dari Grafik 4.8, pada Grafik 4.9 semakin besar korosi yang terjadi pada daerah *jacket* maka indeks keandalan akan semakin kecil sedangkan *fatigue damage* semakin besar dan semakin kecil korosi yang terjadi pada daerah *jacket* maka indeks keandalan akan semakin besar sedangkan *fatigue damage* semakin kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi analisa *fatigue* yang dilakukan pada struktur Sepinggian P serta analisa keandalan pada member terkritis, maka diperoleh kesimpulan sekaligus menjawab rumusan masalah pada BAB I. Kesimpulan-kesimpulan yang didapatkan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisa *fatigue* Sepinggian P menghasilkan *fatigue damage* terbesar pada *joint* 4101. *Fatigue damage* pada kondisi sebelum korosi adalah 0,4765. *Fatigue Damage* pada kondisi korosi tergantung pada besar korosi yang terjadi, semakin besar korosi yang terjadi semakin besar pula *fatigue damage*nya. *Fatigue Damage* terbesar terjadi saat korosi 1/8 in di daerah *jacket* yaitu sebesar 0,8715.
2. *Service life* struktur Sepinggian P dengan meninjau pada *joint* terkritis sebelum terjadi korosi adalah 61,5 tahun, sehingga struktur Sepinggian P masih mampu beroperasi untuk beberapa tahun mendatang setelah melampaui umur operasi yang direncanakan. *Service life* pada saat korosi tergantung besar korosi yang terjadi. Semakin besar korosi yang terjadi maka semakin kecil *service life*nya. Dari analisa *fatigue* pada korosi didapat *service life* terendah pada saat korosi 1/8 in pada daerah *jacket* yaitu sebesar 36,1 tahun dan *service life* terbesar pada saat korosi 1/32 in pada daerah *splash zone* yaitu sebesar 43.9 tahun.
3. Dari hasil analisa keandalan menggunakan simulasi Monte Carlo didapatkan keandalan pada saat kondisi non korosi adalah sebesar 0,99782. Sedangkan pada saat korosi, sama seperti pada *service life*, tergantung dari seberapa besar korosi yang terjadi. Semakin besar korosi yang terjadi maka semakin kecil keandalan. Pada struktur Sepinggian P, keandalan terendah pada member terletak pada *joint* 4101 dengan korosi 1/8 in pada daerah *jacket* sebesar 0,95322. Pada

kasus struktur Sepinggian P batas kondisi korosi yang bisa diterima adalah pada saat korosi pada daerah *splash zone* tidak melebihi 1/16 in atau ketika korosi pada daerah *jacket* tidak melebihi 1/32 in, karena indeks keandalan pada kondisi tersebut masih diatas 2,0 yaitu 2,06 dan 2,42.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diambil sebagai dasar pengembangan tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Diperlukan analisa lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan *fracture mechanics*.
2. Diperlukan analisa lebih lanjut untuk menentukan umur kelelahan dengan data inspeksi yang sudah dilakukan atau dengan variasi $a/2c$ pada kondisi retak awal.
3. Analisa keandalan struktur perlu dikembangkan dengan membandingkan analisa keandalan dengan menggunakan metode AFOSM dibandingkan dengan monte carlo.
4. Perlu dilanjutkan analisa resiko serta penerapan *Risk Based Inspection* pada struktur Sepinggian P.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Ainillah, Shailla. 2017. Analisa *Ultimate Strength* Struktur *Jacket Platform* Berbasis Keandalan Pasca *Subsidence*. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- American Bureau of Shipping. 2003. **Guide For Fatigue Assesment of Offshore Structure**. ABS. New York.
- American Petroleum Institute. 2000. **Recommended Practice For Planning and Construction Fixed Offshore Platform-Working Stress Design, API Recommended Practice 2A (RP2A)**. API Publishing Services. Washington DC.
- Arriyanto, Danny. 2010. Analisa Service Life Extension Pada APNE-B Jacket. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. **Handbook of Offshore Engineering**. Elsevier. Great Britain.
- Daerobi, A. 2012. Pengaruh Korosi Lingkungan Air Laut Terhadap Disain Ketebalan Pipa Penyalur Dengan Metoda *Pipeline Risk Management*. **Tesis**. Program Studi Ilmu Material-FMIPA. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Det Nortske Veritas. 2010. **DNV RP G101 Risk Based Inspection of Offshore Topside Static Mechanical Equipment**. DNV. Norway.
- Djarmiko, E. B . 2003. **Analisis Kelelahan Struktur Bangunan Laut**. Kursus Singkat Offshore Structure Design and Modelling. Surabaya.
- Irfan, Muhammad. 2011. Analisa Kelelahan Berbasis Resiko Pada ETB Jacket Platform Untuk Perpanjangan Umur Operasi. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- ISO 19902. 2007. **Petroleum and Natural Gas Industries Fixed Steel Offshore Structure**. ISO. Switzerland.

- Kusuma, Andri. 2006. Analisa Kekuatan Ultimate Jacket Platform Dengan Pendekatan *Plastic Hinged* Berbasis Keandalan. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Leksono, Pugoh Aji. 2012. Analisa Service Life Extension Pada Well Tripod Platform di Laut Jawa. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Naess, A . 1985. **Fatigue Handbook Offshore Steel Structure**. Trondheim.
- Prihantika, Edit Hasta., Murjito, dan Daniel M. Rosyid. 2013. Analisis Dampak Scouring Pada Integritas Jacket Structure dengan Pendekatan Statis Berbasis Keandalan. **Jurnal Teknik POMITS**, Vol 2, No.2.
- Rosyid,Daniel.M. 2007. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Airlangga University Press. Surabaya
- Sidiq, M Fajar. 2013. Analisa Korosi dan Pengendaliannya. **Jurnal Foundry**, Vol 3, No.1.
- Suwandi, Ika. 2011. Fracture –Fatigue Risk Based Analysis ETB Jacket Offshore Platform For Operational Life Extension. **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Institiut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Tawekal, Aria R Baskara dan Ricky Adriadi. 2004.Studi Kehandalan Struktur Anjungan Lepas Pantai Tipe Monopod. **Jurnal Teknik SIPIL**, Vol 11, No.4.
- Tawekal, Ricky. 2005. Perhitungan SCF untuk Analisa Fatigue Pada Sambungan Struktur Anjungan Lepas Pantai. **Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil**, Volume 13, Nomor 2, pp.63-74.
- Tawekal, Ricky L dan Rony Heriana. 2007. Analisis Kehandalan Anjungan Lepas Pantai Tipe Jacket Berdasarkan Kapasitas *Fatigue* pada sambungan. **Jurnal Teknik SIPIL**, Vol 14, No.2.
- Triastiani,Devi. 2014. Pemanfaatan Ekstrak Rimpang Lengkuas (*alpinia galanga* L.) Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon Dalam Larutan NaCl 1% pH 4 Jenuh. **Tugas Akhir**. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Warastomo, Reza. 2006. Analisa Pengaruh Plastic Hinge Terhadap Umur Kelelahan Struktur Jacket Platform Berbasis Keandalan. **Tugas Akhir**.

Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Instituti Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Wicaksono, Andri Kurniawan. 2010. Analisa Keandalan *Scantling Support Structure System Gas Processing Module* FPSO Belanak Terhadap Beban Kelelahan. **Tugas Akhir.** Jurusan Teknik Kelautan-FTK. Instituti Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Wirching, P.H. dan Chen, Y.N. 1988. *Consideration of Probability-Based Fatigue Design for Marine Structures*. SNAME. One World Trade Center. Suite 1369. New York.

LAMPIRAN A

Perubahan OD dan WT pada Setiap Pemberian
Korosi

A.1 Perubahan OD Dan WT pada Setiap Pemberian Korosi untuk Daerah *Splash Zone*

| GRUP MEMBER | ASLI | | 1/8 “ | | 1/16 “ | | 1/32 “ | |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) |
| BB1 | 18 | 0,5 | 17,75 | 0,375 | 17,875 | 0,4375 | 17,9375 | 0,46875 |
| BB2 | 18 | 0,5 | 17,75 | 0,375 | 17,875 | 0,4375 | 17,9375 | 0,46875 |
| BL1 | 6,625 | 0,432 | 6,375 | 0,307 | 6,5 | 0,3695 | 6,5625 | 0,40075 |
| BL2 | 8,625 | 0,375 | 8,375 | 0,25 | 8,5 | 0,3125 | 8,5625 | 0,34375 |
| BL4 | 20 | 0,75 | 19,75 | 0,625 | 19,875 | 0,6875 | 19,9375 | 0,71875 |
| CS3 | 6,625 | 0,375 | 6,375 | 0,25 | 6,5 | 0,3125 | 6,5625 | 0,34375 |
| CS4 | 10,75 | 0,375 | 10,5 | 0,25 | 10,625 | 0,3125 | 10,6875 | 0,34375 |
| D41 | 16 | 0,375 | 15,75 | 0,25 | 15,875 | 0,3125 | 15,9375 | 0,34375 |
| D42 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| D43 | 10,75 | 0,375 | 10,5 | 0,25 | 10,625 | 0,3125 | 10,6875 | 0,34375 |
| H41 | 14 | 0,375 | 13,75 | 0,25 | 13,875 | 0,3125 | 13,9375 | 0,34375 |
| H42 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| H43 | 10,75 | 0,375 | 10,5 | 0,25 | 10,625 | 0,3125 | 10,6875 | 0,34375 |
| H44 | 8,625 | 0,375 | 8,375 | 0,25 | 8,5 | 0,3125 | 8,5625 | 0,34375 |
| H45 | 6,625 | 0,375 | 6,375 | 0,25 | 6,5 | 0,3125 | 6,5625 | 0,34375 |
| J10 | 6,625 | 0,28 | 6,375 | 0,155 | 6,5 | 0,2175 | 6,5625 | 0,24875 |
| J11 | 3,5 | 0,227 | 3,25 | 0,102 | 3,375 | 0,1645 | 3,4375 | 0,19575 |
| JW1 | 6,625 | 0,28 | 6,375 | 0,155 | 6,5 | 0,2175 | 6,5625 | 0,24875 |
| JW2 | 2,375 | 0,154 | 2,125 | 0,029 | 2,25 | 0,0915 | 2,3125 | 0,12275 |
| JW3 | 10,75 | 0,365 | 10,5 | 0,24 | 10,625 | 0,3025 | 10,6875 | 0,33375 |
| JW4 | 8,625 | 0,322 | 8,375 | 0,197 | 8,5 | 0,2595 | 8,5625 | 0,29075 |
| JW5 | 4 | 0,226 | 3,75 | 0,101 | 3,875 | 0,1635 | 3,9375 | 0,19475 |
| JW6 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| LG4 | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LG5 | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LG6 | 39,5 | 0,75 | 39,25 | 0,625 | 39,375 | 0,6875 | 39,4375 | 0,71875 |
| LG7 | 39,5 | 0,75 | 39,25 | 0,625 | 39,375 | 0,6875 | 39,4375 | 0,71875 |
| LGA | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LGB | 39 | 0,5 | 38,75 | 0,375 | 38,875 | 0,4375 | 38,9375 | 0,46875 |
| RG1 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| RP1 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| RP2 | 8,625 | 0,322 | 8,375 | 0,197 | 8,5 | 0,2595 | 8,5625 | 0,29075 |
| RP3 | 6,625 | 0,28 | 6,375 | 0,155 | 6,5 | 0,2175 | 6,5625 | 0,24875 |

A.2 Perubahan OD Dan WT pada Setiap Pemberian Korosi untuk Daerah *Jacket*

| GRUP MEMBER | ASLI | | 1/8" | | 1/16" | | 1/32" | |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) |
| C2 | 4,5 | 0,237 | 4,25 | 0,112 | 4,375 | 0,1745 | 4,4375 | 0,20575 |
| C30 | 30 | 0,5 | 29,75 | 0,375 | 29,875 | 0,4375 | 29,9375 | 0,46875 |
| CS1 | 8,625 | 0,375 | 8,375 | 0,25 | 8,5 | 0,3125 | 8,5625 | 0,34375 |
| CS2 | 6,625 | 0,375 | 6,375 | 0,25 | 6,5 | 0,3125 | 6,5625 | 0,34375 |
| D11 | 24 | 0,375 | 23,75 | 0,25 | 23,875 | 0,3125 | 23,9375 | 0,34375 |
| D12 | 20 | 0,375 | 19,75 | 0,25 | 19,875 | 0,3125 | 19,9375 | 0,34375 |
| D21 | 18 | 0,375 | 17,75 | 0,25 | 17,875 | 0,3125 | 17,9375 | 0,34375 |
| D22 | 14 | 0,375 | 13,75 | 0,25 | 13,875 | 0,3125 | 13,9375 | 0,34375 |
| D31 | 16 | 0,375 | 15,75 | 0,25 | 15,875 | 0,3125 | 15,9375 | 0,34375 |
| D32 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| H11 | 20 | 0,375 | 19,75 | 0,25 | 19,875 | 0,3125 | 19,9375 | 0,34375 |
| H12 | 18 | 0,375 | 17,75 | 0,25 | 17,875 | 0,3125 | 17,9375 | 0,34375 |
| H21 | 16 | 0,375 | 15,75 | 0,25 | 15,875 | 0,3125 | 15,9375 | 0,34375 |
| H22 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| H31 | 14 | 0,375 | 13,75 | 0,25 | 13,875 | 0,3125 | 13,9375 | 0,34375 |
| H32 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| HB3 | 16 | 0,375 | 15,75 | 0,25 | 15,875 | 0,3125 | 15,9375 | 0,34375 |
| HB5 | 14 | 0,5 | 13,75 | 0,375 | 13,875 | 0,4375 | 13,9375 | 0,46875 |
| LG0 | 39 | 0,5 | 38,75 | 0,375 | 38,875 | 0,4375 | 38,9375 | 0,46875 |
| LG1 | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LG2 | 39,5 | 0,75 | 39,25 | 0,625 | 39,375 | 0,6875 | 39,4375 | 0,71875 |
| LG3 | 39,5 | 0,75 | 39,25 | 0,625 | 39,375 | 0,6875 | 39,4375 | 0,71875 |
| BB1 | 18 | 0,5 | 17,75 | 0,375 | 17,875 | 0,4375 | 17,9375 | 0,46875 |
| BB2 | 18 | 0,5 | 17,75 | 0,375 | 17,875 | 0,4375 | 17,9375 | 0,46875 |
| BL1 | 6,625 | 0,432 | 6,375 | 0,307 | 6,5 | 0,3695 | 6,5625 | 0,40075 |
| BL2 | 8,625 | 0,375 | 8,375 | 0,25 | 8,5 | 0,3125 | 8,5625 | 0,34375 |
| BL4 | 20 | 0,75 | 19,75 | 0,625 | 19,875 | 0,6875 | 19,9375 | 0,71875 |
| CS3 | 6,625 | 0,375 | 6,375 | 0,25 | 6,5 | 0,3125 | 6,5625 | 0,34375 |
| CS4 | 10,75 | 0,375 | 10,5 | 0,25 | 10,625 | 0,3125 | 10,6875 | 0,34375 |
| D41 | 16 | 0,375 | 15,75 | 0,25 | 15,875 | 0,3125 | 15,9375 | 0,34375 |
| D42 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| D43 | 10,75 | 0,375 | 10,5 | 0,25 | 10,625 | 0,3125 | 10,6875 | 0,34375 |
| H41 | 14 | 0,375 | 13,75 | 0,25 | 13,875 | 0,3125 | 13,9375 | 0,34375 |
| H42 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| H43 | 10,75 | 0,375 | 10,5 | 0,25 | 10,625 | 0,3125 | 10,6875 | 0,34375 |
| H44 | 8,625 | 0,375 | 8,375 | 0,25 | 8,5 | 0,3125 | 8,5625 | 0,34375 |
| H45 | 6,625 | 0,375 | 6,375 | 0,25 | 6,5 | 0,3125 | 6,5625 | 0,34375 |
| J10 | 6,625 | 0,28 | 6,375 | 0,155 | 6,5 | 0,2175 | 6,5625 | 0,24875 |

| GRUP MEMBER | ASLI | | 1/8" | | 1/16" | | 1/32" | |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) | OD (in) | WT (in) |
| JW1 | 6,625 | 0,28 | 6,375 | 0,155 | 6,5 | 0,2175 | 6,5625 | 0,24875 |
| JW2 | 2,375 | 0,154 | 2,125 | 0,029 | 2,25 | 0,0915 | 2,3125 | 0,12275 |
| JW3 | 10,75 | 0,365 | 10,5 | 0,24 | 10,625 | 0,3025 | 10,6875 | 0,33375 |
| JW4 | 8,625 | 0,322 | 8,375 | 0,197 | 8,5 | 0,2595 | 8,5625 | 0,29075 |
| JW5 | 4 | 0,226 | 3,75 | 0,101 | 3,875 | 0,1635 | 3,9375 | 0,19475 |
| JW6 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| LG4 | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LG5 | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LG6 | 39,5 | 0,75 | 39,25 | 0,625 | 39,375 | 0,6875 | 39,4375 | 0,71875 |
| LG7 | 39,5 | 0,75 | 39,25 | 0,625 | 39,375 | 0,6875 | 39,4375 | 0,71875 |
| LGA | 40 | 1 | 39,75 | 0,875 | 39,875 | 0,9375 | 39,9375 | 0,96875 |
| LGB | 39 | 0,5 | 38,75 | 0,375 | 38,875 | 0,4375 | 38,9375 | 0,46875 |
| RG1 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| RP1 | 12,75 | 0,375 | 12,5 | 0,25 | 12,625 | 0,3125 | 12,6875 | 0,34375 |
| RP2 | 8,625 | 0,322 | 8,375 | 0,197 | 8,5 | 0,2595 | 8,5625 | 0,29075 |
| RP3 | 6,625 | 0,28 | 6,375 | 0,155 | 6,5 | 0,2175 | 6,5625 | 0,24875 |

LAMPIRAN B

***Output* Periode Natural pada SACS 5.7**

B.1 Periode Natural Tanpa Variasi Korosi

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.751060 | 1.3907436E+04 | 4.4904606E-02 | 1.7661145 |
| 2 | 0.765297 | 1.2009259E+04 | 4.3249402E-02 | 1.7066821 |
| 3 | 1.123659 | 1.1464327E+04 | 2.0061864E-02 | 1.2889949 |
| 4 | 2.776203 | 6.0809698E+03 | 3.2865310E-03 | 0.7602042 |
| 5 | 3.026206 | 4.6841474E+03 | 2.7659436E-03 | 0.6304468 |
| 6 | 3.414475 | 4.9215438E+03 | 2.1726628E-03 | 0.5928708 |
| 7 | 3.611644 | 1.1731387E+04 | 1.9419153E-03 | 0.3768822 |
| 8 | 4.245066 | 9.8220902E+03 | 1.4056309E-03 | 0.2755676 |
| 9 | 4.775434 | 9.1380537E+03 | 1.1107456E-03 | 0.2094051 |
| 10 | 5.202732 | 5.7163435E+03 | 9.3578786E-04 | 0.1922067 |
| 11 | 5.953427 | 3.6732093E+03 | 7.1467114E-04 | 0.1679705 |
| 12 | 6.279039 | 3.0065647E+03 | 6.4247144E-04 | 0.1592600 |
| 13 | 6.474496 | 3.6148383E+03 | 6.0426617E-04 | 0.1544522 |
| 14 | 6.656759 | 2.4000462E+03 | 5.7162937E-04 | 0.1502232 |
| 15 | 6.805092 | 3.4993819E+03 | 5.4698096E-04 | 0.1469488 |
| 16 | 7.260484 | 3.8160170E+03 | 4.8051731E-04 | 0.1377319 |
| 17 | 7.426571 | 4.4103456E+03 | 4.5926517E-04 | 0.1346516 |
| 18 | 7.685499 | 5.3505446E+03 | 4.2884080E-04 | 0.1301152 |
| 19 | 7.994559 | 3.6749980E+03 | 3.9632476E-04 | 0.1250851 |
| 20 | 8.308403 | 2.7870228E+03 | 3.6694853E-04 | 0.1203601 |

B.2 Periode Natural Pada Variasi Korosi 1/32 In Pada Bagian *Jacket*

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.551988 | 1.3705938E+04 | 8.3134369E-02 | 1.8116328 |
| 2 | 0.557121 | 1.4496992E+04 | 8.1609564E-02 | 1.7949420 |
| 3 | 0.777911 | 1.2993022E+04 | 4.1858205E-02 | 1.2854944 |
| 4 | 1.426131 | 6.8258824E+03 | 1.2454360E-02 | 0.7011979 |
| 5 | 1.543002 | 6.6504520E+03 | 1.0639158E-02 | 0.6480873 |
| 6 | 1.955263 | 6.6679843E+03 | 6.6256738E-03 | 0.5114403 |
| 7 | 2.785151 | 1.2638988E+04 | 3.2654472E-03 | 0.3590469 |
| 8 | 3.426423 | 8.8486358E+01 | 2.1575366E-03 | 0.2918495 |
| 9 | 3.637766 | 3.0456399E+02 | 1.9141269E-03 | 0.2748940 |
| 10 | 3.760344 | 5.7269870E+03 | 1.7913694E-03 | 0.2659331 |
| 11 | 4.077869 | 4.0974939E+03 | 1.5232588E-03 | 0.2452261 |
| 12 | 4.136557 | 4.5434836E+02 | 1.4803428E-03 | 0.2417470 |
| 13 | 4.276161 | 6.6493906E+02 | 1.3852625E-03 | 0.2338546 |
| 14 | 4.446566 | 5.2976106E+02 | 1.2811226E-03 | 0.2248926 |
| 15 | 4.553425 | 1.4296887E+03 | 1.2216978E-03 | 0.2196149 |
| 16 | 4.604075 | 4.8763887E+03 | 1.1949659E-03 | 0.2171989 |
| 17 | 4.780339 | 1.4520832E+03 | 1.1084671E-03 | 0.2091902 |
| 18 | 4.787468 | 6.2405682E+02 | 1.1051684E-03 | 0.2088787 |
| 19 | 4.873651 | 4.4809369E+02 | 1.0664275E-03 | 0.2051850 |
| 20 | 4.924819 | 9.8120438E+02 | 1.0443827E-03 | 0.2030531 |

B.3 Periode Natural pada Variasi Korosi 1/32 In pada Bagian *Splash Zone*

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.555473 | 1.3851689E+04 | 8.2094653E-02 | 1.8002686 |
| 2 | 0.558492 | 1.4634663E+04 | 8.1209410E-02 | 1.7905360 |
| 3 | 0.787915 | 1.3153126E+04 | 4.0802043E-02 | 1.2691730 |
| 4 | 1.426490 | 6.7661614E+03 | 1.2448095E-02 | 0.7010215 |
| 5 | 1.542200 | 6.6252897E+03 | 1.0650225E-02 | 0.6484243 |
| 6 | 1.969377 | 6.7518369E+03 | 6.5310427E-03 | 0.5077748 |
| 7 | 2.774135 | 1.2758860E+04 | 3.2914329E-03 | 0.3604727 |
| 8 | 3.449567 | 7.7706132E+01 | 2.1286835E-03 | 0.2898915 |
| 9 | 3.704218 | 5.6904627E+02 | 1.8460653E-03 | 0.2699625 |
| 10 | 3.838490 | 5.7503070E+03 | 1.7191723E-03 | 0.2605191 |
| 11 | 4.118630 | 1.7272854E+03 | 1.4932577E-03 | 0.2427992 |
| 12 | 4.181995 | 5.7734653E+02 | 1.4483489E-03 | 0.2391203 |
| 13 | 4.324928 | 5.9050221E+02 | 1.3541992E-03 | 0.2312177 |
| 14 | 4.490951 | 6.1413704E+02 | 1.2559249E-03 | 0.2226700 |
| 15 | 4.662197 | 1.1503195E+03 | 1.1653573E-03 | 0.2144912 |
| 16 | 4.681902 | 5.1232840E+03 | 1.1555683E-03 | 0.2135884 |
| 17 | 4.860564 | 6.2236761E+02 | 1.0721781E-03 | 0.2057374 |
| 18 | 4.864238 | 8.8378652E+02 | 1.0705592E-03 | 0.2055821 |
| 19 | 4.930861 | 4.6681678E+02 | 1.0418249E-03 | 0.2028043 |
| 20 | 4.982184 | 9.7061128E+02 | 1.0204712E-03 | 0.2007152 |

B.4 Periode Natural pada Variasi Korosi 1/16 In pada Bagian *Jacket*

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.546293 | 1.3433122E+04 | 8.4876664E-02 | 1.8305181 |
| 2 | 0.554508 | 1.4251276E+04 | 8.2380673E-02 | 1.8034020 |
| 3 | 0.762237 | 1.2716605E+04 | 4.3597372E-02 | 1.3119281 |
| 4 | 1.426846 | 6.8122127E+03 | 1.2441881E-02 | 0.7008465 |
| 5 | 1.542590 | 6.5837335E+03 | 1.0644841E-02 | 0.6482604 |
| 6 | 1.923055 | 6.4245852E+03 | 6.8494656E-03 | 0.5200058 |
| 7 | 2.804475 | 1.2448478E+04 | 3.2206020E-03 | 0.3565730 |
| 8 | 3.331093 | 7.3028603E+01 | 2.2827935E-03 | 0.3002017 |
| 9 | 3.588193 | 7.2503057E+02 | 1.9673823E-03 | 0.2786918 |
| 10 | 3.780799 | 4.2617828E+03 | 1.7720378E-03 | 0.2644943 |
| 11 | 4.035199 | 4.4070173E+03 | 1.5556448E-03 | 0.2478193 |
| 12 | 4.218629 | 8.6284351E+03 | 1.4233038E-03 | 0.2370438 |
| 13 | 4.568975 | 3.6684314E+03 | 1.2133963E-03 | 0.2188675 |
| 14 | 4.824290 | 7.6257890E+03 | 1.0883621E-03 | 0.2072844 |
| 15 | 5.090647 | 2.8665490E+03 | 9.7744929E-04 | 0.1964387 |
| 16 | 5.622419 | 4.2158279E+03 | 8.0129745E-04 | 0.1778594 |
| 17 | 5.982824 | 5.3161128E+03 | 7.0766523E-04 | 0.1671452 |
| 18 | 6.653349 | 5.3143110E+03 | 5.7221545E-04 | 0.1503002 |
| 19 | 6.812276 | 4.5498752E+03 | 5.4582797E-04 | 0.1467938 |
| 20 | 6.881252 | 6.0204732E+03 | 5.3494034E-04 | 0.1453224 |

B.5 Periode Natural pada Variasi Korosi 1/16 In pada Bagian *Splash Zone*

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.554093 | 1.3742106E+04 | 8.2503905E-02 | 1.8247503 |
| 2 | 0.557718 | 1.4546878E+04 | 8.1434952E-02 | 1.7930207 |
| 3 | 0.783702 | 1.3056653E+04 | 4.1241838E-02 | 1.2759948 |
| 4 | 1.422623 | 6.7931737E+03 | 1.2515854E-02 | 0.7029268 |
| 5 | 1.534590 | 6.6405804E+03 | 1.0756111E-02 | 0.6516397 |
| 6 | 1.936972 | 6.8155753E+03 | 6.7513935E-03 | 0.5162696 |
| 7 | 2.779372 | 1.2679529E+04 | 3.2790421E-03 | 0.3597936 |
| 8 | 3.652368 | 9.3598173E+03 | 1.8988519E-03 | 0.2737949 |
| 9 | 3.822695 | 5.6434252E+03 | 1.7334090E-03 | 0.2615956 |
| 10 | 4.026012 | 3.9608216E+03 | 1.5627518E-03 | 0.2483847 |
| 11 | 4.154813 | 6.1380625E+02 | 1.4673618E-03 | 0.2406847 |
| 12 | 4.299827 | 5.8747412E+02 | 1.3700558E-03 | 0.2325675 |
| 13 | 4.446515 | 6.5101560E+02 | 1.2811520E-03 | 0.2248952 |
| 14 | 4.629352 | 3.5249873E+03 | 1.1819519E-03 | 0.2160129 |
| 15 | 4.662022 | 1.1347701E+03 | 1.1654446E-03 | 0.2144992 |
| 16 | 4.841217 | 5.0092491E+02 | 1.0807646E-03 | 0.2065596 |
| 17 | 4.862678 | 8.0001415E+02 | 1.0712462E-03 | 0.2056480 |
| 18 | 4.901614 | 7.4693063E+02 | 1.0542946E-03 | 0.2040144 |
| 19 | 4.934002 | 8.9684022E+02 | 1.0404989E-03 | 0.2026752 |
| 20 | 5.119358 | 6.0804461E+02 | 9.6651660E-04 | 0.1953370 |

B.6 Periode Natural pada Variasi Korosi 1/8 In pada Bagian *Jacket*

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.544035 | 1.3214212E+04 | 8.5582713E-02 | 1.8381160 |
| 2 | 0.564887 | 1.4675827E+04 | 7.9381137E-02 | 1.7702660 |
| 3 | 0.758103 | 1.1199874E+04 | 4.4074133E-02 | 1.3190819 |
| 4 | 1.488773 | 6.3583397E+03 | 1.1428339E-02 | 0.6716939 |
| 5 | 1.608712 | 5.9529215E+03 | 9.7877615E-03 | 0.6216151 |
| 6 | 2.057503 | 5.4973155E+03 | 5.9835542E-03 | 0.4860260 |
| 7 | 2.480208 | 6.0863101E+01 | 4.1177885E-03 | 0.4031920 |
| 8 | 2.886588 | 1.1048557E+04 | 3.0399788E-03 | 0.3464297 |
| 9 | 3.540004 | 6.7165803E+03 | 2.0213089E-03 | 0.2824855 |
| 10 | 3.854043 | 4.9152874E+03 | 1.7053247E-03 | 0.2594678 |
| 11 | 4.313356 | 6.3615482E+03 | 1.3614746E-03 | 0.2318380 |
| 12 | 4.503953 | 3.9495236E+03 | 1.2486840E-03 | 0.2220272 |
| 13 | 4.636027 | 2.6806520E+03 | 1.1785509E-03 | 0.2157019 |
| 14 | 5.189104 | 4.7598044E+03 | 9.4070928E-04 | 0.1927115 |
| 15 | 5.300067 | 3.2201486E+03 | 9.0173195E-04 | 0.1886768 |
| 16 | 5.334766 | 2.2109067E+03 | 8.9003995E-04 | 0.1874496 |
| 17 | 5.571839 | 3.7589654E+03 | 8.1591175E-04 | 0.1794740 |
| 18 | 6.415665 | 4.3352294E+03 | 6.1539912E-04 | 0.1558685 |
| 19 | 6.491137 | 2.6748898E+03 | 6.0117188E-04 | 0.1540562 |
| 20 | 6.749171 | 2.5577640E+03 | 5.5608271E-04 | 0.1481663 |

B.7 Periode Natural pada Variasi Korosi 1/8 In pada Bagian *Splash Zone*

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

| MODE | FREQ.(CPS) | GEN. MASS | EIGENVALUE | PERIOD(SECS) |
|------|------------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 0.544268 | 1.3217164E+04 | 8.5509668E-02 | 1.8343314 |
| 2 | 0.552789 | 1.4185507E+04 | 8.2893649E-02 | 1.8090081 |
| 3 | 0.761538 | 1.2672681E+04 | 4.3677437E-02 | 1.3131322 |
| 4 | 1.412657 | 6.7255147E+03 | 1.2693078E-02 | 0.7078860 |
| 5 | 1.503303 | 6.5077939E+03 | 1.1208485E-02 | 0.6652017 |
| 6 | 1.823401 | 6.6260917E+03 | 7.6186153E-03 | 0.5484258 |
| 7 | 2.789960 | 1.2605803E+04 | 3.2541995E-03 | 0.3584280 |
| 8 | 3.590774 | 8.1656124E+03 | 1.9645543E-03 | 0.2784915 |
| 9 | 3.784040 | 6.7816994E+03 | 1.7690043E-03 | 0.2642678 |
| 10 | 3.873443 | 4.3822836E+03 | 1.6882853E-03 | 0.2581682 |
| 11 | 4.239289 | 8.3642109E+03 | 1.4094647E-03 | 0.2358886 |
| 12 | 4.575965 | 5.8585114E+03 | 1.2096920E-03 | 0.2185331 |
| 13 | 4.725237 | 3.3600657E+03 | 1.1344701E-03 | 0.2116296 |
| 14 | 5.480860 | 2.9359158E+03 | 8.4322375E-04 | 0.1824531 |
| 15 | 5.775356 | 3.3205431E+03 | 7.5942109E-04 | 0.1731495 |
| 16 | 6.354270 | 5.0804897E+03 | 6.2734864E-04 | 0.1573745 |
| 17 | 6.388669 | 3.5951225E+03 | 6.2061095E-04 | 0.1565271 |
| 18 | 6.717743 | 6.4023516E+03 | 5.6129802E-04 | 0.1488595 |
| 19 | 6.839030 | 4.6550335E+03 | 5.4156573E-04 | 0.1462196 |
| 20 | 7.213466 | 4.8048388E+03 | 4.8680193E-04 | 0.1386296 |

LAMPIRAN C

Output Fatigue Damage dan Service Life

C. Korosi 1/8 in Pada Daerah *Jacket*

* * * M E M B E R F A T I G U E R E P O R T * * *
(DAMAGE ORDER)

| JOINT (IN) | MEMBER | GRUP ID | TYPE ID | ORIGINAL | | JNT TYP | MEM TYP | CHORD | | GAP (IN) | * STRESS CONC. FACTORS * | | | | FATIGUE RESULTS | | | | REQUIRED | |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------|-------------|--------------------------|-------|-------|----------|-----------------|----------|------|------------|----------|--|
| | | | | OD (IN) | WT (IN) | | | LEN. (FT) | AX-CR | | AX-SD | IN-PL | OU-PL | DAMAGE | LOC | SVC | LIFE | OD (IN) | WT | |
| 4101 | 502L-4101 | D42 | TUB | 12.50 | 0.250 | TK | BRC | 17.43 | -16.30 | 5.18 | 11.74 | 3.74 | 7.00 | .5122144 | L | 49.82558 | | | | |
| 4101 | 422-4101 | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | CHD | 17.43 | | 6.56 | 6.58 | 5.17 | 7.00 | .8715203 | R | 36.11671 | | | | |
| 4101 | 505L-4101 | D42 | TUB | 12.50 | 0.250 | TK | BRC | 17.43 | -16.30 | 4.44 | 4.97 | 3.90 | 7.00 | .5198652 | R | 49.45136 | | | | |
| 4101 | 4101-405L | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | CHD | 17.43 | | 4.88 | 5.14 | 3.91 | 7.00 | .5538351 | R | 46.05242 | | | | |
| 4101 | 4101-5101 | D43 | TUB | 10.50 | 0.250 | TK | BRC | 17.21 | -16.30 | 3.75 | 4.45 | 3.58 | 5.11 | .3537522 | R | 67.76322 | | | | |
| 4101 | 422-4101 | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | CHD | 17.21 | | 3.79 | 4.45 | 3.58 | 5.11 | .3546766 | R | 67.65751 | | | | |
| 4101 | 481-4101 | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | BRC | 17.21 | -17.61 | 4.03 | 4.67 | 3.72 | 6.23 | .4781032 | R | 59.92594 | | | | |
| 4101 | 422-4101 | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | CHD | 17.21 | | 4.14 | 4.74 | 3.72 | 6.56 | .4701148 | R | 57.93036 | | | | |
| 4101 | 420-4101 | H42 | TUB | 12.75 | 0.375 | TK | BRC | 17.74 | -17.61 | 3.42 | 3.93 | 3.36 | 4.12 | .0905184 | R | 113.8029 | | | | |
| 4101 | 422-4101 | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | CHD | 17.74 | | 3.90 | 4.47 | 3.68 | 5.22 | .3881877 | R | 63.66663 | | | | |
| 4101 | 4104-4101 | H42 | TUB | 12.75 | 0.375 | TK | BRC | 17.74 | -17.61 | 3.53 | 4.04 | 3.51 | 4.39 | .1828514 | L | 79.68959 | | | | |
| 4101 | 4101-405L | H41 | TUB | 13.50 | 0.125 | TK | CHD | 17.74 | | 3.71 | 4.32 | 3.53 | 4.73 | .2554168 | L | 77.20184 | | | | |

* * * M E M B E R F A T I G U E R E P O R T * * *
(DAMAGE ORDER)

| JOINT (IN) | MEMBER | GRUP ID | TYPE ID | ORIGINAL | | JNT TYP | MEM TYP | CHORD | GAP (IN) | * AX-CR | STRESS AX-SD | CONC. IN-PL | * OU-PL | FATIGUE | | RESULTS | | REQUIRED | |
|---------------|------------------------|------------|------------|----------------|----------------|------------|------------|----------------|-------------|------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|---------|----------------------|------------|----|
| | | | | OD (IN) | WT (IN) | | | LEN. (FT) | | | | | | DAMAGE | LOC | SVC | LIFE | OD (IN) | WT |
| 3101 3101 | 402L-3101 3100-3101 | D32 HB5 | TUB TUB | 12.50 13.75 | 0.250 0.375 | T T | BRC CHD | 48.10 48.10 | | | 3.73 6.56 | 4.44 5.91 | 3.57 5.02 | 4.89 7.00 | .2742912 .8665961 | BL B | 67.98814 36.26395 | | |
| 3101 3101 | 405L-3101 3100-3101 | D32 HB5 | TUB TUB | 12.50 13.75 | 0.250 0.375 | T T | BRC CHD | 48.10 48.10 | | | 4.28 4.94 | 4.83 5.70 | 3.81 3.93 | 6.60 7.00 | .5024137 .6018536 | BR B | 51.24368 42.11668 | | |
| 3101 3101 | 322-3101 3100-3101 | H31 HB5 | TUB TUB | 13.75 13.75 | 0.250 0.375 | TK TK | BRC CHD | 48.10 48.10 | -18.44 | | 3.34 4.86 | 3.63 5.04 | 3.12 3.91 | 3.90 7.00 | .0735984 .5052922 | BL B | 274.7275 48.10229 | | |
| 3101 3101 | 3101-305L 3100-3101 | H31 HB5 | TUB TUB | 13.75 13.75 | 0.250 0.375 | TK TK | BRC CHD | 48.10 48.10 | -18.44 | | 3.41 4.91 | 3.81 5.45 | 3.31 3.92 | 4.02 6.85 | .0822693 .6904122 | T T | 176.2673 45.91992 | | |
| 3101 3101 | 320-3101 3100-3101 | H32 HB5 | TUB TUB | 12.50 13.75 | 0.250 0.375 | TK TK | BRC CHD | 48.10 48.10 | -18.44 | | 2.50 2.73 | 2.19 3.05 | 2.50 2.67 | 2.67 3.50 | .41639-10 .13451-3 | R L | 54942.+7 297386.1 | | |
| 3101 3101 | 3101-3104 3101-3102 | H32 HB5 | TUB TUB | 12.50 13.75 | 0.250 0.375 | TK TK | BRC CHD | 48.10 48.10 | -18.44 | | 2.58 2.67 | 2.42 2.86 | 2.60 2.65 | 3.09 3.39 | .29818-7 .10007-3 | R L | 13415.+4 399701.0 | | |
| 3101 3101 | 3101-3106 3101-3102 | H32 HB5 | TUB TUB | 12.50 13.75 | 0.250 0.375 | TK TK | BRC CHD | 48.10 48.10 | -18.44 | | 2.59 2.66 | 2.48 2.70 | 2.61 2.63 | 3.12 3.39 | .30211-6 .22974-4 | R R | 96064.+3 1741104. | | |

(DAMAGE ORDER)

| JOINT (IN) | MEMBER | GRUP ID | TYPE ID | ORIGINAL | | JNT TYP | MEM TYP | CHORD | GAP (IN) | * | STRESS AX-CR | CONC. AX-SD | FACTORS IN-PL | * OU-PL | FATIGUE RESULTS | | | | REQUIRED | |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|------|-----------------|----------------|------------------|------------|-----------------|-----|--------|------|------------|----|
| | | | | OD (IN) | WT (IN) | | | LEN. (FT) | | | | | | | DAMAGE | LOC | SVC | LIFE | OD (IN) | WT |
| 3101 | 3103-3101 | H32 | TUB | 12.50 | 0.250 | TK | BRC | 48.10 | -18.44 | 2.53 | 2.25 | 2.56 | 2.68 | .7280 | -10 | L | 13240 | +6 | | |
| 3101 | 3100-3101 | HB5 | TUB | 13.75 | 0.375 | TK | CHD | 48.10 | | 2.64 | 2.70 | 2.62 | 3.33 | .10745 | -4 | R | 37226 | 58. | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 478 | 478-421 | CS1 | TUB | 8.38 | 0.375 | K | BRC | 16.82 | -3.58 | 3.34 | 3.72 | 3.19 | 3.94 | .07217 | 89 | L | 223.48 | 26 | | |
| 478 | 478-420 | H42 | TUB | 12.75 | 0.375 | K | CHD | 16.82 | | 5.04 | 5.91 | 3.95 | 7.00 | .68785 | 08 | L | 41.844 | 90 | | |
| 478 | 478-485 | H43 | TUB | 10.50 | 0.250 | Y | BRC | 16.82 | | 3.03 | 3.14 | 2.74 | 3.58 | .50589 | -3 | R | 66018 | .88 | | |
| 478 | 474-478 | H42 | TUB | 12.75 | 0.375 | Y | CHD | 16.82 | | 3.28 | 3.49 | 3.03 | 3.74 | .02860 | 52 | R | 1398.3 | 46 | | |
| 478 | 479-478 | H44 | TUB | 8.12 | 0.125 | K | BRC | 16.65 | -3.58 | 3.42 | 3.93 | 3.35 | 4.12 | .09642 | 14 | R | 116.77 | 08 | | |
| 478 | 474-478 | H42 | TUB | 12.75 | 0.375 | K | CHD | 16.65 | | 3.47 | 4.00 | 3.36 | 4.14 | .09672 | 55 | R | 107.37 | 64 | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0261 | 1527-0261 | DB7 | TUB | 10.75 | 0.365 | Y | BRC | 13.63 | | 3.32 | 3.52 | 3.03 | 3.80 | .04561 | 45 | L | 632.40 | 05 | | |
| 0261 | 0261-0960 | TR4 | TUB | 12.75 | 0.375 | Y | CHD | 13.63 | | 3.48 | 4.01 | 3.39 | 4.20 | .10533 | 13 | L | 93.53 | 083 | | |

* * * M E M B E R F A T I G U E R E P O R T * * *
(DAMAGE ORDER)

| JOINT (IN) | MEMBER | GRUP ID | TYPE ID | ORIGINAL | | JNT TYP | MEM TYP | CHORD | | GAP (IN) | * STRESS CONC. FACTORS * | | | | FATIGUE RESULTS | | | | REQUIRED | |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------|-------------|--------------------------|-------|-------|----------|-----------------|----------|------|------------|----------|--|
| | | | | OD (IN) | WT (IN) | | | LEN. (FT) | AX-CR | | AX-SD | IN-PL | OU-PL | DAMAGE | LOC | SVC | LIFE | OD (IN) | WT | |
| 0267 | 0960-0267 | TR4 | TUB | 12.75 | 0.375 | Y | BRC | 13.63 | | 3.63 | 4.19 | 3.51 | 4.55 | .2038459 | L | 78.07549 | | | | |
| 0267 | 906-0267 | TR3 | TUB | 16.00 | 0.500 | Y | CHD | 13.63 | | 3.97 | 4.66 | 3.71 | 6.05 | .4330778 | L | 59.96929 | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1431 | 1438-1431 | RP2 | TUB | 8.38 | 0.197 | T | BRC | 4.92 | | 3.72 | 4.44 | 3.56 | 4.73 | .2731663 | R | 73.10448 | | | | |
| 1431 | 1431-1428 | RP1 | TUB | 12.50 | 0.250 | T | CHD | 4.92 | | 4.14 | 4.76 | 3.74 | 6.60 | .4912513 | R | 53.59544 | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1410 | 1416-1410 | RP2 | TUB | 8.38 | 0.197 | T | BRC | 4.92 | | 3.50 | 4.02 | 3.45 | 4.31 | .1460511 | L | 86.09712 | | | | |
| 1410 | 1410-1408 | RP1 | TUB | 12.50 | 0.250 | T | CHD | 4.92 | | 3.93 | 4.52 | 3.69 | 5.92 | .3812117 | L | 63.12813 | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 482 | 482- 481 | H45 | TUB | 6.62 | 0.375 | Y | BRC | 8.87 | | 3.27 | 3.48 | 2.93 | 3.72 | .0272288 | L | 1469.033 | | | | |
| 482 | 4100- 482 | H42 | TUB | 12.75 | 0.375 | Y | CHD | 8.87 | | 3.34 | 3.80 | 3.19 | 3.97 | .0829957 | L | 197.0485 | | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1438 | 1438-1433 | RP3 | TUB | 6.38 | 0.155 | K | BRC | 4.92 | -0.98 | 2.63 | 2.55 | 2.62 | 3.13 | .85734-5 | R | 4665575. | | | | |

* * * M E M B E R F A T I G U E R E P O R T * * *
(DAMAGE ORDER)

| JOINT (IN) | MEMBER | GRUP ID | TYPE ID | ORIGINAL | | JNT TYP | MEM TYP | CHORD | GAP (IN) | * | STRESS AX-CR | CONC. AX-SD | FACTORS IN-PL | * | FATIGUE | | RESULTS | | REQUIRED | |
|---------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|---|-----------------|----------------|------------------|------|----------|-----|----------|------|------------|----|
| | | | | OD (IN) | WT (IN) | | | LEN. (FT) | | | | | | | DAMAGE | LOC | SVC | LIFE | OD (IN) | WT |
| 1438 | 1437-1438 | RP1 | TUB | 12.50 | 0.250 | K | CHD | 4.92 | | | 2.76 | 3.07 | 2.71 | 3.54 | .39029-3 | R | 102487.9 | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 403L | 403L-302L | D31 | TUB | 15.75 | 0.250 | K | BRC | 30.15 | -2.90 | | 3.11 | 3.47 | 2.89 | 3.66 | .81372-2 | TL | 4915.669 | | | |
| 403L | 303L-403L | LG3 | TUB | 40.00 | 1.000 | K | CHD | 30.15 | | | 3.04 | 3.16 | 2.81 | 3.59 | .26150-2 | TL | 15296.36 | | | |
| 403L | 403L-3102 | D32 | TUB | 12.50 | 0.250 | K | BRC | 30.15 | 6.33 | | 3.07 | 3.34 | 2.88 | 3.64 | .35681-2 | TR | 11210.53 | | | |
| 403L | 303L-403L | LG3 | TUB | 40.00 | 1.000 | K | CHD | 30.15 | | | 3.05 | 3.19 | 2.84 | 3.63 | .27970-2 | T | 14301.28 | | | |
| ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 906 | 906-0216 | DB7 | TUB | 10.75 | 0.365 | Y | BRC | 11.95 | | | 2.50 | 2.19 | 2.50 | 2.53 | .0000000 | T | INFINITE | | | |
| 906 | 906-706L | DL1 | TUB | 36.00 | 0.625 | Y | CHD | 11.95 | | | 2.50 | 2.17 | 2.50 | 2.50 | .0000000 | T | INFINITE | | | |
| 906 | 0957- 906 | TR1 | TUB | 20.00 | 0.375 | K | BRC | 11.95 | -0.90 | | 3.18 | 3.48 | 2.92 | 3.72 | .0102268 | BL | 3911.303 | | | |
| 906 | 666- 906 | DL1 | TUB | 36.00 | 0.625 | K | CHD | 11.95 | | | 3.32 | 3.54 | 3.06 | 3.88 | .0505048 | BL | 503.1141 | | | |
| 906 | 0405- 906 | TR2 | TUB | 16.00 | 0.375 | K | BRC | 11.95 | -0.90 | | 2.50 | 2.16 | 2.50 | 2.45 | .0000000 | T | INFINITE | | | |
| 906 | 906-706L | DL1 | TUB | 36.00 | 0.625 | K | CHD | 11.95 | | | 2.74 | 3.06 | 2.71 | 3.52 | .25649-3 | TR | 155950.5 | | | |

* * * M E M B E R F A T I G U E R E P O R T * * *
(DAMAGE ORDER)

| JOINT (IN) | MEMBER | GRUP ID | TYPE ID | ORIGINAL | | JNT TYP | MEM TYP | CHORD LEN. (FT) | GAP (IN) | * STRESS CONC. FACTORS * | | | | FATIGUE RESULTS | | | | REQUIRED | |
|---------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------|----------|----------|----------|------------|----|
| | | | | OD (IN) | WT (IN) | | | | | AX-CR | AX-SD | IN-PL | OU-PL | DAMAGE | LOC | SVC | LIFE | OD (IN) | WT |
| 906 | 0960- | 906 | TR2 | TUB | 16.00 | 0.375 | K | BRC | 11.95 | 1.10 | 3.41 | 3.88 | 3.33 | 4.07 | .0952433 | BL | 169.8796 | | |
| 906 | 666- | 906 | DL1 | TUB | 36.00 | 0.625 | K | CHD | 11.95 | | 3.53 | 4.03 | 3.47 | 4.34 | .1871475 | L | 79.99474 | | |
| 906 | 906-0267 | TR3 | TUB | 16.00 | 0.500 | K | BRC | 11.95 | 1.10 | 2.81 | 3.13 | 2.73 | 3.57 | .10519-3 | TL | 68025.37 | | | |
| 906 | 906-706L | DL1 | TUB | 36.00 | 0.625 | K | CHD | 11.95 | | 3.32 | 3.59 | 3.07 | 3.90 | .0546002 | L | 440.3327 | | | |
| 906 | 906-1521 | TR5 | TUB | 18.00 | 0.500 | Y | BRC | 11.95 | | 2.50 | 2.03 | 2.50 | 2.17 | .0000000 | T | INFINITE | | | |
| 906 | 906-706L | DL1 | TUB | 36.00 | 0.625 | Y | CHD | 11.95 | | 2.56 | 2.41 | 2.56 | 2.96 | .18306-8 | BL | 22531.+5 | | | |

LAMPIRAN D

Iterasi Parameter Weibull

D.1 Iterasi Paramater Weibull pada Struktur dengan Korosi 1/32 in pada *Jacket*

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,628 | 0,1 | 0,000 | -0,63 |
| 0,628 | 0,15 | 0,000 | -0,63 |
| 0,628 | 0,2 | 0,000 | -0,63 |
| 0,628 | 0,25 | 0,000 | -0,63 |
| 0,628 | 0,3 | 0,000 | -0,63 |
| 0,628 | 0,35 | 0,001 | -0,63 |
| 0,628 | 0,4 | 0,005 | -0,62 |
| 0,628 | 0,45 | 0,018 | -0,61 |
| 0,628 | 0,5 | 0,048 | -0,58 |
| 0,628 | 0,55 | 0,107 | -0,52 |
| 0,628 | 0,6 | 0,211 | -0,42 |
| 0,628 | 0,65 | 0,375 | -0,25 |
| 0,628 | 0,7 | 0,615 | -0,01 |
| 0,628 | 0,701 | 0,621 | -0,01 |
| 0,628 | 0,703 | 0,628 | 0,00 |
| 0,628 | 0,705 | 0,644 | 0,02 |
| 0,628 | 0,707 | 0,656 | 0,03 |
| 0,628 | 0,709 | 0,668 | 0,04 |
| 0,628 | 0,75 | 0,946 | 0,32 |
| 0,628 | 0,8 | 1,382 | 0,75 |
| 0,628 | 0,85 | 1,939 | 1,31 |
| 0,628 | 0,9 | 2,632 | 2,00 |
| 0,628 | 0,95 | 3,477 | 2,85 |
| 0,628 | 1 | 4,492 | 3,86 |

D.2 Iterasi Paramater Weibull pada Struktur dengan Korosi 1/32 in pada *Splash Zone*

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,606 | 0,1 | 0,000 | -0,61 |
| 0,606 | 0,15 | 0,000 | -0,61 |
| 0,606 | 0,2 | 0,000 | -0,61 |
| 0,606 | 0,25 | 0,000 | -0,61 |
| 0,606 | 0,3 | 0,000 | -0,61 |
| 0,606 | 0,35 | 0,001 | -0,60 |
| 0,606 | 0,4 | 0,005 | -0,60 |
| 0,606 | 0,45 | 0,016 | -0,59 |
| 0,606 | 0,5 | 0,043 | -0,56 |
| 0,606 | 0,55 | 0,097 | -0,51 |
| 0,606 | 0,6 | 0,191 | -0,41 |
| 0,606 | 0,65 | 0,339 | -0,27 |
| 0,606 | 0,7 | 0,556 | -0,05 |
| 0,606 | 0,71 | 0,606 | 0,00 |
| 0,606 | 0,72 | 0,664 | 0,06 |
| 0,606 | 0,73 | 0,724 | 0,12 |
| 0,606 | 0,74 | 0,787 | 0,18 |
| 0,606 | 0,75 | 0,854 | 0,25 |
| 0,606 | 0,8 | 1,247 | 0,64 |
| 0,606 | 0,85 | 1,748 | 1,14 |
| 0,606 | 0,9 | 2,371 | 1,77 |
| 0,606 | 0,95 | 3,130 | 2,52 |
| 0,606 | 1 | 4,043 | 3,44 |

D.3 Iterasi Paramater Weibull pada Struktur dengan Korosi 1/16 in pada *Jacket*

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,846 | 0,1 | 0,000 | -0,85 |
| 0,846 | 0,15 | 0,000 | -0,85 |
| 0,846 | 0,2 | 0,000 | -0,85 |
| 0,846 | 0,25 | 0,000 | -0,85 |
| 0,846 | 0,3 | 0,000 | -0,85 |
| 0,846 | 0,35 | 0,003 | -0,84 |
| 0,846 | 0,4 | 0,013 | -0,83 |
| 0,846 | 0,45 | 0,045 | -0,80 |
| 0,846 | 0,5 | 0,123 | -0,72 |
| 0,846 | 0,55 | 0,280 | -0,57 |
| 0,846 | 0,6 | 0,556 | -0,29 |
| 0,846 | 0,61 | 0,630 | -0,22 |
| 0,846 | 0,62 | 0,710 | -0,14 |
| 0,846 | 0,63 | 0,798 | -0,05 |
| 0,846 | 0,631 | 0,807 | -0,04 |
| 0,846 | 0,632 | 0,817 | -0,03 |
| 0,846 | 0,633 | 0,826 | -0,02 |
| 0,846 | 0,634 | 0,835 | -0,01 |
| 0,846 | 0,635 | 0,846 | 0,00 |
| 0,846 | 0,636 | 0,854 | 0,01 |
| 0,846 | 0,637 | 0,864 | 0,02 |
| 0,846 | 0,64 | 0,894 | 0,05 |
| 0,846 | 0,65 | 0,997 | 0,15 |
| 0,846 | 0,7 | 1,646 | 0,80 |

D.4 Iterasi Paramater Weibull pada Struktur dengan Korosi 1/16 in pada *Splash Zone*

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,740 | 0,1 | 0,000 | -0,74 |
| 0,740 | 0,15 | 0,000 | -0,74 |
| 0,740 | 0,2 | 0,000 | -0,74 |
| 0,740 | 0,25 | 0,000 | -0,74 |
| 0,740 | 0,3 | 0,000 | -0,74 |
| 0,740 | 0,35 | 0,001 | -0,74 |
| 0,740 | 0,4 | 0,007 | -0,73 |
| 0,740 | 0,45 | 0,023 | -0,72 |
| 0,740 | 0,5 | 0,063 | -0,68 |
| 0,740 | 0,55 | 0,144 | -0,60 |
| 0,740 | 0,6 | 0,285 | -0,45 |
| 0,740 | 0,65 | 0,508 | -0,23 |
| 0,740 | 0,67 | 0,625 | -0,11 |
| 0,740 | 0,68 | 0,690 | -0,05 |
| 0,740 | 0,684 | 0,718 | -0,02 |
| 0,740 | 0,686 | 0,732 | -0,01 |
| 0,740 | 0,687 | 0,740 | 0,00 |
| 0,740 | 0,688 | 0,746 | 0,01 |
| 0,740 | 0,689 | 0,753 | 0,01 |
| 0,740 | 0,7 | 0,835 | 0,10 |
| 0,740 | 0,75 | 1,289 | 0,55 |
| 0,740 | 0,8 | 1,890 | 1,15 |
| 0,740 | 0,85 | 2,658 | 1,92 |
| 0,740 | 0,9 | 3,616 | 2,88 |

D.5 Iterasi Paramater Weibull pada Struktur dengan Korosi 1/8 in pada *Jacket*

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,872 | 0,1 | 0,000 | -0,87 |
| 0,872 | 0,15 | 0,000 | -0,87 |
| 0,872 | 0,2 | 0,000 | -0,87 |
| 0,872 | 0,25 | 0,000 | -0,87 |
| 0,872 | 0,3 | 0,000 | -0,87 |
| 0,872 | 0,35 | 0,003 | -0,87 |
| 0,872 | 0,4 | 0,017 | -0,85 |
| 0,872 | 0,45 | 0,059 | -0,81 |
| 0,872 | 0,5 | 0,162 | -0,71 |
| 0,872 | 0,55 | 0,370 | -0,50 |
| 0,872 | 0,6 | 0,737 | -0,13 |
| 0,872 | 0,61 | 0,834 | -0,04 |
| 0,872 | 0,611 | 0,845 | -0,03 |
| 0,872 | 0,612 | 0,855 | -0,02 |
| 0,872 | 0,613 | 0,865 | -0,01 |
| 0,872 | 0,614 | 0,872 | 0,00 |
| 0,872 | 0,615 | 0,887 | 0,02 |
| 0,872 | 0,616 | 0,897 | 0,03 |
| 0,872 | 0,617 | 0,908 | 0,04 |
| 0,872 | 0,62 | 0,941 | 0,07 |
| 0,872 | 0,65 | 1,321 | 0,45 |
| 0,872 | 0,7 | 2,182 | 1,31 |
| 0,872 | 0,75 | 3,380 | 2,51 |
| 0,872 | 0,8 | 4,970 | 4,10 |

D.6 Iterasi Paramater Weibull pada Struktur dengan Korosi 1/8 in pada *Splash Zone*

| D | ξ | Dcf | Δ |
|----------|-------------------------|------------|----------------------------|
| 0,743 | 0,1 | 0,000 | -0,74 |
| 0,743 | 0,15 | 0,000 | -0,74 |
| 0,743 | 0,2 | 0,000 | -0,74 |
| 0,743 | 0,25 | 0,000 | -0,74 |
| 0,743 | 0,3 | 0,000 | -0,74 |
| 0,743 | 0,35 | 0,001 | -0,74 |
| 0,743 | 0,4 | 0,007 | -0,74 |
| 0,743 | 0,45 | 0,026 | -0,72 |
| 0,743 | 0,5 | 0,069 | -0,67 |
| 0,743 | 0,55 | 0,158 | -0,59 |
| 0,743 | 0,6 | 0,312 | -0,43 |
| 0,743 | 0,65 | 0,557 | -0,19 |
| 0,743 | 0,67 | 0,686 | -0,06 |
| 0,743 | 0,672 | 0,700 | -0,04 |
| 0,743 | 0,674 | 0,714 | -0,03 |
| 0,743 | 0,676 | 0,728 | -0,01 |
| 0,743 | 0,678 | 0,743 | 0,00 |
| 0,743 | 0,68 | 0,757 | 0,01 |
| 0,743 | 0,69 | 0,834 | 0,09 |
| 0,743 | 0,7 | 0,917 | 0,17 |
| 0,743 | 0,75 | 1,414 | 0,67 |
| 0,743 | 0,8 | 2,074 | 1,33 |
| 0,743 | 0,85 | 2,917 | 2,17 |
| 0,743 | 0,9 | 3,969 | 3,23 |

LAMPIRAN E
Simulasi Monte Carlo

E.1 Perhitungan Keandalan *Joint* 4101 Kondisi Tanpa Korosi

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,67245 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 4,941222 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,35223 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|---------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 49873 |
| Gagal | 127 |
| PoF | 0,00254 |
| K | 0,99746 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|--------|--------|
| 1 | 0,97663 | 19226904,1 | 0,03659 | 4,36134E+13 | 0,420277 | 3,7174271 | 0,8495078 | 207,481339 | 0,104174 | 0,77657719 | 0,1225319 | 2,58297594 | 1,5754 | 1 |
| 2 | 0,21906 | 16746675 | 0,876267 | 1,88804E+13 | 0,616776 | 3,7733261 | 0,8971486 | 120,020714 | 0,644005 | 0,67640041 | 0,993352 | 0,55783092 | 0,4213 | 1 |
| 3 | 0,15153 | 16535054,2 | 0,799558 | 1,74795E+13 | 0,353592 | 3,6978531 | 0,2776837 | 114,121356 | 0,486431 | 0,66785302 | 0,4471159 | 0,48441006 | 0,3954 | 1 |
| 4 | 0,40271 | 17195273,2 | 0,895828 | 2,21619E+13 | 0,942287 | 3,9166326 | 0,4132215 | 133,277557 | 0,335191 | 0,69451935 | 0,6902667 | 0,74800361 | 0,419 | 1 |
| 5 | 0,31835 | 17002198,5 | 0,735978 | 2,06956E+13 | 0,897286 | 3,8820721 | 0,7322545 | 127,44445 | 0,393584 | 0,68672104 | 0,5996527 | 0,65990758 | 0,4158 | 1 |
| 6 | 0,66265 | 17777199,6 | 0,904257 | 2,71162E+13 | 0,990904 | 4,0049794 | 0,1894363 | 152,07012 | 0,172939 | 0,71802344 | 0,1857145 | 1,08219476 | 0,3077 | 1 |
| 7 | 0,91174 | 18624510,5 | 0,676206 | 3,59596E+13 | 0,518377 | 3,7451703 | 0,2939866 | 182,889255 | 0,179093 | 0,75224644 | 0,2053974 | 1,81429289 | 1,1334 | 1 |
| 8 | 0,58643 | 17599249,4 | 0,482192 | 2,55119E+13 | 0,518781 | 3,7452841 | 0,7622447 | 146,125949 | 0,687623 | 0,71083601 | 0,5102492 | 0,96787563 | 0,6891 | 1 |
| 9 | 0,10991 | 16372999,3 | 0,701925 | 1,64664E+13 | 0,349163 | 3,6965133 | 0,9820088 | 109,752471 | 0,688109 | 0,6613076 | 0,1561957 | 0,43425644 | 0,3586 | 1 |
| 10 | 0,7956 | 18141816,8 | 0,998841 | 3,06677E+13 | 0,144174 | 3,6208714 | 0,2167485 | 164,812504 | 0,878839 | 0,73275038 | 0,1935337 | 1,35567027 | 1,061 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,07999 | 16227864,2 | 0,954737 | 1,56012E+13 | 0,260018 | 3,6678228 | 0,7466871 | 105,946993 | 0,157542 | 0,65544557 | 0,6709435 | 0,39340038 | 0,3329 | 1 |
| 49991 | 0,64079 | 17724735 | 0,148104 | 2,66347E+13 | 0,855691 | 3,8590618 | 0,0061755 | 150,29917 | 0,385402 | 0,71590439 | 0,5548013 | 1,04727587 | 0,5929 | 1 |
| 49992 | 0,84053 | 18297164 | 0,216778 | 3,22946E+13 | 0,373355 | 3,7037615 | 0,5183957 | 170,477211 | 0,607502 | 0,73902487 | 0,3908794 | 1,49020831 | 1,0436 | 1 |
| 49993 | 0,80489 | 18171949,8 | 0,167578 | 3,09778E+13 | 0,720091 | 3,8054252 | 0,688546 | 165,900129 | 0,979283 | 0,73396745 | 0,0260888 | 1,3808687 | 0,8117 | 1 |
| 49994 | 0,27397 | 16893370,5 | 0,505602 | 1,99054E+13 | 0,317976 | 3,6868883 | 0,6579234 | 124,24191 | 0,195638 | 0,68232546 | 0,5694125 | 0,61451933 | 0,4934 | 1 |
| 49995 | 0,83285 | 18268687,7 | 0,447631 | 3,19911E+13 | 0,564201 | 3,7581348 | 0,9532813 | 169,428097 | 0,223499 | 0,73787471 | 0,7704004 | 1,46467254 | 0,9384 | 1 |
| 49996 | 0,52944 | 17472625,8 | 0,80545 | 2,44193E+13 | 0,520506 | 3,7457696 | 0,4640644 | 142,00332 | 0,422636 | 0,70572166 | 0,8847626 | 0,89334478 | 0,6445 | 1 |
| 49997 | 0,37108 | 17124412,3 | 0,09113 | 2,1614E+13 | 0,632487 | 3,7779739 | 0,1643818 | 131,114038 | 0,982143 | 0,69165727 | 0,4983012 | 0,71449953 | 0,5153 | 1 |
| 49998 | 0,19981 | 16690762,5 | 0,249849 | 1,85014E+13 | 0,15721 | 3,627128 | 0,3989446 | 118,440389 | 0,075164 | 0,6741421 | 0,7997498 | 0,53750792 | 0,4537 | 1 |
| 49999 | 0,04928 | 16029042,5 | 0,001238 | 1,44778E+13 | 0,798927 | 3,8340004 | 0,3943386 | 100,895057 | 0,31376 | 0,64741514 | 0,8876052 | 0,34310168 | 0,2648 | 1 |
| 50000 | 0,34819 | 17072111,2 | 0,588324 | 2,12169E+13 | 0,677065 | 3,7915566 | 0,0176806 | 129,53411 | 0,610415 | 0,68954482 | 0,4390635 | 0,69065307 | 0,493 | 1 |

E.2 Perhitungan Keandalan Joint 4101 Kondisi Korosi 1/32 in (*Jacket*)

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,34478 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 5,078047 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,35365 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|--------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 49370 |
| Gagal | 630 |
| PoF | 0,0126 |
| K | 0,9874 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|---------|--------|
| 1 | 0,66152 | 12808213,6 | 0,93525 | 2,70909E+13 | 0,403484 | 3,7125853 | 0,9950608 | 174,261147 | 0,367886 | 0,71689285 | 0,6865232 | 1,08034254 | 0,6953 | 1 |
| 2 | 0,02444 | 11368494,5 | 0,835139 | 1,3149E+13 | 0,786263 | 3,8290333 | 0,7030058 | 108,631994 | 0,020983 | 0,63630984 | 0,2532085 | 0,28766492 | 0,2075 | 1 |
| 3 | 0,60059 | 12705115,1 | 0,068517 | 2,57956E+13 | 0,366301 | 3,7016651 | 0,4510477 | 168,76776 | 0,13254 | 0,71112229 | 0,2696104 | 0,9876676 | 0,6607 | 1 |
| 4 | 0,89574 | 13357954,3 | 0,037025 | 3,49514E+13 | 0,425917 | 3,7190435 | 0,0787596 | 205,843246 | 0,738918 | 0,74766257 | 0,956576 | 1,7222673 | 0,966 | 1 |
| 5 | 0,13468 | 11870748,5 | 0,906372 | 1,70887E+13 | 0,080551 | 3,5827656 | 0,0145745 | 128,934647 | 0,164995 | 0,66442167 | 0,8554017 | 0,46477019 | 0,3868 | 1 |
| 6 | 0,30656 | 12231360,7 | 0,058055 | 2,04879E+13 | 0,888416 | 3,8766762 | 0,2520986 | 145,170897 | 0,229407 | 0,68460562 | 0,1422884 | 0,64783546 | 0,3309 | 1 |
| 7 | 0,00921 | 11150598,7 | 0,459346 | 1,16934E+13 | 0,569137 | 3,7595427 | 0,6905049 | 100,611353 | 0,743147 | 0,62411393 | 0,1085984 | 0,23206927 | 0,1843 | 1 |
| 8 | 0,94312 | 13575880,5 | 0,537522 | 3,85541E+13 | 0,897992 | 3,8825154 | 0,9957646 | 219,478018 | 0,855898 | 0,75986019 | 0,629578 | 2,06106731 | 0,2585 | 1 |
| 9 | 0,98155 | 13923018,5 | 0,912606 | 4,49307E+13 | 0,913687 | 3,89302 | 0,183358 | 242,57742 | 0,488797 | 0,77928997 | 0,4261926 | 2,72757818 | -0,0969 | 0 |
| 10 | 0,73746 | 12949083,7 | 0,315639 | 2,89482E+13 | 0,708683 | 3,8016585 | 0,0569921 | 181,981907 | 0,080624 | 0,72477753 | 0,7519642 | 1,21977124 | 0,5942 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,02222 | 11345616,5 | 0,189318 | 1,29894E+13 | 0,741307 | 3,8126362 | 0,7883859 | 107,768148 | 0,006211 | 0,63502933 | 0,3370527 | 0,28130566 | 0,2073 | 1 |
| 49991 | 0,7844 | 13047564,2 | 0,129761 | 3,03087E+13 | 0,002948 | 3,4310597 | 0,4407336 | 187,529299 | 0,397117 | 0,73028962 | 0,4423754 | 1,32676079 | 1,1386 | 1 |
| 49992 | 0,10504 | 11782801,7 | 0,703184 | 1,63355E+13 | 0,98832 | 3,9944132 | 0,923396 | 125,19009 | 0,706359 | 0,65949917 | 0,8084377 | 0,42795635 | 0,187 | 1 |
| 49993 | 0,90744 | 13403106,1 | 0,918012 | 3,56738E+13 | 0,444125 | 3,7242338 | 0,9763034 | 208,614689 | 0,31573 | 0,75018978 | 0,4404773 | 1,78798362 | 0,9758 | 1 |
| 49994 | 0,45176 | 12468574,4 | 0,363686 | 2,3018E+13 | 0,312752 | 3,6852391 | 0,2241845 | 156,654063 | 0,662663 | 0,69788278 | 0,0583994 | 0,80174773 | 0,571 | 1 |
| 49995 | 0,07886 | 11689305,2 | 0,147766 | 1,55653E+13 | 0,836761 | 3,8500945 | 0,2222114 | 121,299047 | 0,162532 | 0,65426605 | 0,8922151 | 0,39174608 | 0,2555 | 1 |
| 49996 | 0,90655 | 13399522,7 | 0,210367 | 3,5616E+13 | 0,14594 | 3,6217405 | 0,7578212 | 208,393722 | 0,409643 | 0,74998921 | 0,878752 | 1,78268596 | 1,23 | 1 |
| 49997 | 0,63338 | 12759795,4 | 0,53944 | 2,6476E+13 | 0,72147 | 3,8058853 | 0,7808804 | 171,664899 | 0,995579 | 0,71418282 | 0,1712899 | 1,03587717 | 0,5348 | 1 |
| 49998 | 0,78929 | 13058538,4 | 0,594573 | 3,04636E+13 | 0,743078 | 3,8132513 | 0,3078543 | 188,155212 | 0,747204 | 0,73090386 | 0,8704572 | 1,33919719 | 0,5931 | 1 |
| 49999 | 0,63891 | 12769192,1 | 0,258052 | 2,65944E+13 | 0,32323 | 3,6885354 | 0,6251967 | 172,166484 | 0,843424 | 0,71470876 | 0,0943931 | 1,04437419 | 0,7065 | 1 |
| 50000 | 0,32823 | 12268594,4 | 0,782317 | 2,08689E+13 | 0,629139 | 3,7769781 | 0,3632437 | 146,93027 | 0,582063 | 0,68668964 | 0,6874853 | 0,67005952 | 0,4287 | 1 |

E.3 Perhitungan Keandalan Joint 4101 Kondisi Korosi 1/32 in (*Splash Zone*)

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,30829 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 5,057374 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,34374 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|---------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 49504 |
| Gagal | 496 |
| PoF | 0,00992 |
| K | 0,99008 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|---------|--------|
| 1 | 0,17506 | 11543181,4 | 0,474102 | 1,79927E+13 | 0,7823 | 3,8275144 | 0,3439313 | 130,62546 | 0,720922 | 0,67676786 | 0,3200075 | 0,51076271 | 0,3276 | 1 |
| 2 | 0,4681 | 12046610,6 | 0,063276 | 2,33069E+13 | 0,831577 | 3,8477588 | 0,8631127 | 154,705297 | 0,93325 | 0,70628353 | 0,1099999 | 0,8202644 | 0,4256 | 1 |
| 3 | 0,59249 | 12237109,8 | 0,296975 | 2,56325E+13 | 0,482449 | 3,7350624 | 0,0002169 | 164,630827 | 0,166118 | 0,71745235 | 0,0098777 | 0,97626989 | 0,6296 | 1 |
| 4 | 0,06602 | 11218055,2 | 0,289243 | 1,51314E+13 | 0,278624 | 3,6741459 | 0,8372691 | 116,640988 | 0,627443 | 0,65770596 | 0,0935178 | 0,37198537 | 0,2994 | 1 |
| 5 | 0,71932 | 12451066,2 | 0,870191 | 2,84725E+13 | 0,589239 | 3,7653109 | 0,1789766 | 176,337945 | 0,499556 | 0,72999645 | 0,4598385 | 1,18333047 | 0,6775 | 1 |
| 6 | 0,45332 | 12024221,8 | 0,153799 | 2,30455E+13 | 0,844271 | 3,8535652 | 0,7809099 | 153,568887 | 0,663662 | 0,70497089 | 0,3612024 | 0,80350483 | 0,4133 | 1 |
| 7 | 0,6168 | 12275782,8 | 0,147273 | 2,61276E+13 | 0,007297 | 3,4659766 | 0,01554 | 166,702552 | 0,468341 | 0,71971972 | 0,69118 | 1,01105971 | 0,8665 | 1 |
| 8 | 0,24651 | 11687613,5 | 0,45066 | 1,94015E+13 | 0,132262 | 3,6148113 | 0,2920826 | 137,224301 | 0,085191 | 0,68523581 | 0,5174202 | 0,58633736 | 0,4719 | 1 |
| 9 | 0,52625 | 12134751,1 | 0,737765 | 2,436E+13 | 0,412611 | 3,7152225 | 0,6090265 | 159,24032 | 0,691307 | 0,71145114 | 0,6819559 | 0,88938036 | 0,6053 | 1 |
| 10 | 0,965 | 13241058 | 0,684089 | 4,13411E+13 | 0,564262 | 3,7581523 | 0,7552803 | 225,024783 | 0,978265 | 0,77631306 | 0,4721312 | 2,34196345 | 1,0554 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,58742 | 12229140,6 | 0,509986 | 2,55315E+13 | 0,654742 | 3,7846729 | 0,0409804 | 164,20632 | 0,433591 | 0,71698512 | 0,746608 | 0,96923772 | 0,5626 | 1 |
| 49991 | 0,75323 | 12515862,7 | 0,999915 | 2,93826E+13 | 0,242625 | 3,6616976 | 0,9572368 | 180,003135 | 0,635872 | 0,73379542 | 0,0013628 | 1,25349279 | 0,8733 | 1 |
| 49992 | 0,95694 | 13177879,1 | 0,150455 | 4,01596E+13 | 0,766649 | 3,8216653 | 0,6665609 | 220,799387 | 0,605473 | 0,77260893 | 0,232498 | 2,22090182 | 0,6978 | 1 |
| 49993 | 0,1126 | 11383687,9 | 0,212687 | 1,65374E+13 | 0,89286 | 3,8793393 | 0,0683028 | 123,617322 | 0,114677 | 0,66741688 | 0,6898802 | 0,43768735 | 0,2675 | 1 |
| 49994 | 0,56433 | 12193176,2 | 0,566889 | 2,50797E+13 | 0,521295 | 3,745992 | 0,9521788 | 162,300716 | 0,313964 | 0,71487656 | 0,5221649 | 0,93807168 | 0,598 | 1 |
| 49995 | 0,60153 | 12251403,4 | 0,293909 | 2,58146E+13 | 0,68201 | 3,7931073 | 0,8998449 | 165,394284 | 0,990039 | 0,71829037 | 0,0878255 | 0,98899929 | 0,5581 | 1 |
| 49996 | 0,35072 | 11865397,8 | 0,221864 | 2,12608E+13 | 0,194593 | 3,6433853 | 0,077553 | 145,685511 | 0,784814 | 0,69565916 | 0,4043545 | 0,69327548 | 0,5351 | 1 |
| 49997 | 0,98912 | 13564350,4 | 0,309091 | 4,78509E+13 | 0,768857 | 3,8224769 | 0,585617 | 247,600377 | 0,856952 | 0,79526745 | 0,9609347 | 3,06081935 | 0,6529 | 1 |
| 49998 | 0,95594 | 13170760,9 | 0,048925 | 4,00283E+13 | 0,960854 | 3,9375493 | 0,8805023 | 220,327072 | 0,265327 | 0,7721916 | 0,2640197 | 2,20762541 | -0,1443 | 0 |
| 49999 | 0,96317 | 13225693,8 | 0,051263 | 4,10511E+13 | 0,937992 | 3,9125784 | 0,6945765 | 223,991711 | 0,270931 | 0,77541227 | 0,6111849 | 2,31198299 | 0,0245 | 1 |
| 50000 | 0,60266 | 12253205 | 0,422846 | 2,58376E+13 | 0,182244 | 3,6382518 | 0,7575007 | 165,490701 | 0,523506 | 0,718396 | 0,6882503 | 0,99061445 | 0,7367 | 1 |

E.4 Perhitungan Keandalan Joint 4101 Kondisi Korosi 1/16 in (*Jacket*)

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,64276 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 5,287283 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,45538 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|---------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 47104 |
| Gagal | 2896 |
| PoF | 0,05792 |
| K | 0,94208 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|---------|--------|
| 1 | 0,59515 | 17103468,2 | 0,50834 | 2,5686E+13 | 0,125481 | 3,6111923 | 0,2395345 | 207,46766 | 0,52841 | 0,64188548 | 0,6687711 | 0,97999675 | 0,661 | 1 |
| 2 | 0,50127 | 16901573,3 | 0,877525 | 2,39019E+13 | 0,138331 | 3,6179435 | 0,7866516 | 197,929886 | 0,215934 | 0,63430846 | 0,4855996 | 0,85900536 | 0,5885 | 1 |
| 3 | 0,62795 | 17176784,4 | 0,965593 | 2,63607E+13 | 0,111944 | 3,6035365 | 0,5895688 | 211,014834 | 0,499955 | 0,64463701 | 0,0013374 | 1,02763684 | 0,6953 | 1 |
| 4 | 0,22413 | 16270519 | 0,59345 | 1,89781E+13 | 0,174542 | 3,6349396 | 0,040059 | 170,221598 | 0,701954 | 0,61062527 | 0,6183019 | 0,56312756 | 0,4079 | 1 |
| 5 | 0,05189 | 15579569,3 | 0,481834 | 1,45883E+13 | 0,885622 | 3,8750406 | 0,98516 | 143,325063 | 0,096745 | 0,58469424 | 0,3703275 | 0,34791219 | 0,1948 | 1 |
| 6 | 0,56781 | 17043736,5 | 0,801608 | 2,51469E+13 | 0,58419 | 3,7638565 | 0,3051665 | 204,610844 | 0,105392 | 0,63964378 | 0,328025 | 0,94267906 | 0,4341 | 1 |
| 7 | 0,72724 | 17417117,7 | 0,338805 | 2,86773E+13 | 0,166327 | 3,6313025 | 0,425831 | 222,961211 | 0,256447 | 0,6536566 | 0,7210436 | 1,19896018 | 0,7432 | 1 |
| 8 | 0,02417 | 15311252 | 0,352054 | 1,31301E+13 | 0,227391 | 3,6561343 | 0,857579 | 133,788854 | 0,210919 | 0,57462441 | 0,6875477 | 0,28690905 | 0,2261 | 1 |
| 9 | 0,76816 | 17529142,1 | 0,153413 | 2,98138E+13 | 0,734476 | 3,8102828 | 0,5963697 | 228,699218 | 0,72739 | 0,65786083 | 0,047942 | 1,28737033 | 0,3308 | 1 |
| 10 | 0,05258 | 15584596,3 | 0,935086 | 1,46169E+13 | 0,054041 | 3,5597086 | 0,3318226 | 143,508441 | 0,083392 | 0,5848829 | 0,5624176 | 0,34916 | 0,2874 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,21663 | 16249983,6 | 0,224283 | 1,88333E+13 | 0,092534 | 3,5913001 | 0,4242751 | 169,371707 | 0,089196 | 0,60985458 | 0,414129 | 0,55529044 | 0,4227 | 1 |
| 49991 | 0,84203 | 17767285,4 | 0,42745 | 3,23552E+13 | 0,05538 | 3,5610645 | 0,1380541 | 241,263361 | 0,618192 | 0,66679824 | 0,1768769 | 1,49533205 | 1,013 | 1 |
| 49992 | 0,47681 | 16849839,4 | 0,860623 | 2,34618E+13 | 0,295978 | 3,6798604 | 0,2331042 | 195,539608 | 0,897595 | 0,6323669 | 0,1371388 | 0,83027398 | 0,5132 | 1 |
| 49993 | 0,96943 | 18556384,1 | 0,15062 | 4,21066E+13 | 0,975648 | 3,9611663 | 0,6727696 | 286,607923 | 0,276967 | 0,69641276 | 0,7089788 | 2,42195903 | -2,0082 | 0 |
| 49994 | 0,79343 | 17604264,2 | 0,650695 | 3,05968E+13 | 0,040656 | 3,5444215 | 0,0402939 | 232,608413 | 0,615245 | 0,66068013 | 0,7115314 | 1,34993661 | 0,9554 | 1 |
| 49995 | 0,82275 | 17699088,4 | 0,547009 | 3,16096E+13 | 0,173815 | 3,6346223 | 0,6817082 | 237,613938 | 0,549655 | 0,66423884 | 0,4914049 | 1,43285855 | 0,8389 | 1 |
| 49996 | 0,71808 | 17393331,5 | 0,759328 | 2,84407E+13 | 0,475173 | 3,7330131 | 0,9424479 | 221,756847 | 0,983497 | 0,65276392 | 0,8921899 | 1,18091449 | 0,542 | 1 |
| 49997 | 0,64925 | 17225667,5 | 0,999479 | 2,68188E+13 | 0,78284 | 3,8277204 | 0,2209224 | 213,404951 | 0,593557 | 0,64647156 | 0,7387653 | 1,06056124 | 0,3027 | 1 |
| 49998 | 0,82847 | 17718794,1 | 0,012833 | 3,18236E+13 | 0,967164 | 3,9465216 | 0,3757081 | 238,664177 | 0,132134 | 0,66497838 | 0,8920219 | 1,45066182 | -0,4299 | 0 |
| 49999 | 0,85355 | 17810778,7 | 0,81343 | 3,28383E+13 | 0,644596 | 3,7816005 | 0,0034552 | 243,612597 | 0,15817 | 0,66843053 | 0,4891774 | 1,53645895 | 0,4128 | 1 |
| 50000 | 0,21444 | 16243898,1 | 0,131731 | 1,87906E+13 | 0,680634 | 3,7926747 | 0,0762485 | 169,12046 | 0,817292 | 0,6096262 | 0,5102788 | 0,55298712 | 0,3048 | 1 |

E.5 Perhitungan Keandalan Joint 4101 Kondisi Korosi 1/16 in (*Splash Zone*)

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,50821 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 5,130363 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,37667 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|---------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 48476 |
| Gagal | 1524 |
| PoF | 0,03048 |
| K | 0,96952 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|---------|--------|
| 1 | 0,18116 | 14114232 | 0,08579 | 1,81207E+13 | 0,279449 | 3,6744214 | 0,1315393 | 141,168712 | 0,876487 | 0,65561037 | 0,8032166 | 0,51743193 | 0,3783 | 1 |
| 2 | 0,68709 | 15135892,2 | 0,210962 | 2,76799E+13 | 0,894386 | 3,8802718 | 0,2762028 | 186,220813 | 0,785458 | 0,7030668 | 0,9756914 | 1,12372865 | 0,2649 | 1 |
| 3 | 0,82214 | 15469197,6 | 0,533587 | 3,15872E+13 | 0,443958 | 3,7241864 | 0,6156163 | 203,011318 | 0,264873 | 0,71854893 | 0,3841016 | 1,43099519 | 0,7299 | 1 |
| 4 | 0,86837 | 15620799,9 | 0,934208 | 3,35109E+13 | 0,494432 | 3,7384339 | 0,5040824 | 211,011837 | 0,863657 | 0,72559091 | 0,0290626 | 1,59455729 | 0,7337 | 1 |
| 5 | 0,05958 | 13664988,7 | 0,595351 | 1,48941E+13 | 0,767767 | 3,8220758 | 0,8876787 | 124,18292 | 0,789943 | 0,63474288 | 0,129466 | 0,36137678 | 0,2337 | 1 |
| 6 | 0,97628 | 16309731,2 | 0,708127 | 4,35323E+13 | 0,44272 | 3,7238347 | 0,3024532 | 250,376402 | 0,1123 | 0,75759197 | 0,0753862 | 2,5741901 | 0,9778 | 1 |
| 7 | 0,54437 | 14854044,4 | 0,266798 | 2,46989E+13 | 0,043706 | 3,5482261 | 0,1521532 | 172,852011 | 0,215736 | 0,68997488 | 0,8702922 | 0,91216143 | 0,7089 | 1 |
| 8 | 0,87027 | 15627778,9 | 0,871469 | 3,36018E+13 | 0,383587 | 3,7067806 | 0,5277161 | 211,385726 | 0,991953 | 0,72591509 | 0,2579316 | 1,6024809 | 0,8307 | 1 |
| 9 | 0,03266 | 13471905,2 | 0,839596 | 1,36631E+13 | 0,488694 | 3,7368197 | 0,2745664 | 117,372821 | 0,349898 | 0,6257741 | 0,0097026 | 0,30858638 | 0,23 | 1 |
| 10 | 0,89144 | 15711219,7 | 0,320053 | 3,47042E+13 | 0,062058 | 3,5674674 | 0,2232994 | 215,894412 | 0,261329 | 0,72979094 | 0,0891254 | 1,70003048 | 1,1989 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,11792 | 13921960,5 | 0,024078 | 1,66749E+13 | 0,900111 | 3,8838613 | 0,6711662 | 133,699426 | 0,5717 | 0,6466793 | 0,2238877 | 0,44437426 | 0,2334 | 1 |
| 49991 | 0,75688 | 15294537,3 | 0,58779 | 2,9486E+13 | 0,373735 | 3,703874 | 0,1988452 | 194,077586 | 0,530916 | 0,71043591 | 0,3375852 | 1,26157492 | 0,716 | 1 |
| 49992 | 0,6795 | 15119776,8 | 0,032681 | 2,75017E+13 | 0,988554 | 3,9952798 | 0,6802243 | 185,436236 | 0,277879 | 0,70231823 | 0,3815426 | 1,11052255 | -0,1508 | 0 |
| 49993 | 0,0629 | 13683692,7 | 0,505988 | 1,50181E+13 | 0,106738 | 3,6004157 | 0,2114453 | 124,857956 | 0,752849 | 0,63561169 | 0,6574086 | 0,36690393 | 0,2987 | 1 |
| 49994 | 0,32571 | 14441816,2 | 0,232338 | 2,08248E+13 | 0,567473 | 3,7590678 | 0,4304263 | 154,607721 | 0,214068 | 0,67082676 | 0,768674 | 0,66747013 | 0,4041 | 1 |
| 49995 | 0,05763 | 13653602,9 | 0,179798 | 1,4819E+13 | 0,853542 | 3,858006 | 0,9596186 | 123,77334 | 0,27207 | 0,63421401 | 0,4802531 | 0,3580494 | 0,2183 | 1 |
| 49996 | 0,59554 | 14951117,1 | 0,033151 | 2,56937E+13 | 0,773389 | 3,824156 | 0,3350953 | 177,372531 | 0,67628 | 0,69448394 | 0,0453099 | 0,98053886 | 0,4037 | 1 |
| 49997 | 0,70246 | 15169106 | 0,186152 | 2,80502E+13 | 0,734873 | 3,8104188 | 0,4930056 | 187,845647 | 0,926254 | 0,70460959 | 0,1194775 | 1,15139815 | 0,4545 | 1 |
| 49998 | 0,10013 | 13855764,7 | 0,939695 | 1,62E+13 | 0,414182 | 3,7156749 | 0,0557924 | 131,197598 | 0,854275 | 0,64360449 | 0,7143124 | 0,42148183 | 0,3043 | 1 |
| 49999 | 0,92931 | 15897962,9 | 0,490905 | 3,72812E+13 | 0,335804 | 3,6924337 | 0,5041163 | 226,245249 | 0,159444 | 0,73846521 | 0,4601395 | 1,93821862 | 0,9841 | 1 |
| 50000 | 0,97907 | 16352495,8 | 0,226553 | 4,42289E+13 | 0,031652 | 3,5316395 | 0,2648584 | 252,988426 | 0,850095 | 0,7595784 | 0,4683566 | 2,65009122 | 1,8656 | 1 |

E.6 Perhitungan Keandalan Joint 4101 Kondisi Korosi 1/8 in (*Jacket*)

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,67245 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 5,357382 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,48901 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|---------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 46591 |
| Gagal | 3409 |
| PoF | 0,06818 |
| K | 0,93182 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|---------|--------|
| 1 | 0,86819 | 18408326,9 | 0,693209 | 3,35024E+13 | 0,214763 | 3,6513616 | 0,3783189 | 264,745236 | 0,753453 | 0,64846315 | 0,5266637 | 1,59381737 | 0,8235 | 1 |
| 2 | 0,55824 | 17536169,8 | 0,005359 | 2,49626E+13 | 0,452009 | 3,7264701 | 0,5511587 | 218,41532 | 0,028079 | 0,61774 | 0,5322065 | 0,9300677 | 0,4746 | 1 |
| 3 | 0,98804 | 19488059,3 | 0,187124 | 4,73304E+13 | 0,503951 | 3,7411111 | 0,4634735 | 331,846477 | 0,023666 | 0,68649848 | 0,7065552 | 3,00013898 | 0,2826 | 1 |
| 4 | 0,32014 | 17006470,7 | 0,098841 | 2,07271E+13 | 0,333023 | 3,6915767 | 0,9113832 | 193,414726 | 0,189001 | 0,59908049 | 0,6878677 | 0,66175002 | 0,4186 | 1 |
| 5 | 0,7439 | 17987806,2 | 0,751406 | 2,9123E+13 | 0,890338 | 3,8778185 | 0,3050515 | 241,574911 | 0,503434 | 0,63364963 | 0,8976132 | 1,23329189 | 0,0418 | 1 |
| 6 | 0,85394 | 18349187 | 0,329106 | 3,28552E+13 | 0,724055 | 3,8067513 | 0,5307791 | 261,39029 | 0,786232 | 0,64637985 | 0,8175276 | 1,53790791 | 0,2426 | 1 |
| 7 | 0,66058 | 17772180,5 | 0,434835 | 2,70699E+13 | 0,126599 | 3,6117986 | 0,2662053 | 230,300041 | 0,791752 | 0,62605386 | 0,0478075 | 1,07880894 | 0,6975 | 1 |
| 8 | 0,68706 | 17837547,9 | 0,692631 | 2,76791E+13 | 0,780993 | 3,8270169 | 0,1144242 | 233,675548 | 0,803414 | 0,62835653 | 0,9231104 | 1,1236687 | 0,2625 | 1 |
| 9 | 0,41941 | 17232204,6 | 0,562325 | 2,2452E+13 | 0,640709 | 3,7804319 | 0,8267526 | 203,791496 | 0,310167 | 0,60703234 | 0,89764 | 0,76602621 | 0,3596 | 1 |
| 10 | 0,17582 | 16616620,3 | 0,938661 | 1,80088E+13 | 0,916457 | 3,8950184 | 0,9958879 | 176,430223 | 0,953531 | 0,58534738 | 0,3982686 | 0,51159777 | 0,2019 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,74831 | 18000185,8 | 0,481907 | 2,92447E+13 | 0,094107 | 3,5923585 | 0,1442575 | 242,234513 | 0,041977 | 0,63408572 | 0,9530987 | 1,24274373 | 0,807 | 1 |
| 49991 | 0,65779 | 17765405,1 | 0,076233 | 2,70074E+13 | 0,327901 | 3,6899907 | 0,6036817 | 229,952264 | 0,09287 | 0,62581519 | 0,6785208 | 1,07425365 | 0,5764 | 1 |
| 49992 | 0,72931 | 17947692 | 0,041644 | 2,87315E+13 | 0,929734 | 3,9053619 | 0,8310529 | 239,446796 | 0,90499 | 0,63223654 | 0,4887233 | 1,20311222 | -0,0608 | 0 |
| 49993 | 0,58013 | 17585061,8 | 0,010151 | 2,53875E+13 | 0,139307 | 3,6184385 | 0,5729349 | 220,838795 | 0,978789 | 0,6194623 | 0,859612 | 0,95925218 | 0,6299 | 1 |
| 49994 | 0,55199 | 17522308,3 | 0,129822 | 2,48432E+13 | 0,705285 | 3,8005501 | 0,3031512 | 217,731867 | 0,535094 | 0,61725171 | 0,9031804 | 0,92194181 | 0,3432 | 1 |
| 49995 | 0,95731 | 18970834,8 | 0,573522 | 4,02088E+13 | 0,609376 | 3,7711571 | 0,6864642 | 298,28893 | 0,840285 | 0,6682784 | 0,1848128 | 2,22588315 | 0,2527 | 1 |
| 49996 | 0,67917 | 17817820,1 | 0,849727 | 2,7494E+13 | 0,801817 | 3,8351602 | 0,4398237 | 232,652952 | 0,402053 | 0,62766159 | 0,1105977 | 1,10995448 | 0,2405 | 1 |
| 49997 | 0,27741 | 16902066,6 | 0,332958 | 1,99676E+13 | 0,825474 | 3,8450673 | 0,2866749 | 188,75136 | 0,880804 | 0,59540269 | 0,1348295 | 0,61803886 | 0,2595 | 1 |
| 49998 | 0,46119 | 17323703,7 | 0,213527 | 2,31845E+13 | 0,029186 | 3,5276166 | 0,0646315 | 208,114009 | 0,005073 | 0,61025554 | 0,2540712 | 0,81239289 | 0,6213 | 1 |
| 49999 | 0,27435 | 16894312,1 | 0,593671 | 1,99122E+13 | 0,391138 | 3,7089929 | 0,8497199 | 188,408384 | 0,709437 | 0,59512953 | 0,0576041 | 0,61489955 | 0,3848 | 1 |
| 50000 | 0,49716 | 17402066,1 | 0,471881 | 2,38275E+13 | 0,502439 | 3,7406861 | 0,2511485 | 211,870103 | 0,378099 | 0,61301598 | 0,8199871 | 0,85411693 | 0,4338 | 1 |

E.7 Perhitungan Keandalan Joint 4101 Kondisi Korosi 1/8 in (*Splash Zone*)

| Variabel | COV | Distribusi | Mean | SD |
|----------|------|------------|----------|-------------|
| no | 0,05 | lognormal | 16,5128 | 0,049968792 |
| A | 0,31 | lognormal | 30,80402 | 0,302916532 |
| m | 0,03 | normal | 3,74 | 0,1122 |
| Se | 0,2 | lognormal | 5,154345 | 0,1980422 |
| ξ | 0,05 | lognormal | -0,38986 | 0,049968792 |
| Δ | 0,6 | lognormal | -0,15374 | 0,554513029 |

| | |
|----------|---------|
| Simulasi | 50000 |
| Berhasil | 48476 |
| Gagal | 1524 |
| PoF | 0,03048 |
| K | 0,96952 |

| n | a1 | no | a2 | A | a3 | m | a4 | Se | a5 | ξ | a6 | Δ | f(x) | Status |
|-------|---------|------------|----------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|-----------|------------|--------|--------|
| 1 | 0,81211 | 15510974,8 | 0,553633 | 3,12273E+13 | 0,936456 | 3,9111819 | 0,8139354 | 206,386888 | 0,065883 | 0,70779653 | 0,2515371 | 1,40129247 | 0,0529 | 1 |
| 2 | 0,97337 | 16344159,7 | 0,784346 | 4,28832E+13 | 0,674571 | 3,7907786 | 0,6729798 | 253,946701 | 0,968813 | 0,74581642 | 0,8076937 | 2,50435434 | 0,4862 | 1 |
| 3 | 0,71658 | 15270271,6 | 0,290628 | 2,84026E+13 | 0,123422 | 3,6100671 | 0,6978342 | 193,982227 | 0,781653 | 0,69681277 | 0,9621087 | 1,17802099 | 0,8195 | 1 |
| 4 | 0,28318 | 14420300,5 | 0,257279 | 2,00715E+13 | 0,885718 | 3,875096 | 0,3727741 | 154,591107 | 0,432883 | 0,6580269 | 0,9735977 | 0,62393417 | 0,2769 | 1 |
| 5 | 0,0344 | 13549610,1 | 0,166472 | 1,37599E+13 | 0,668182 | 3,7887957 | 0,6532636 | 120,777666 | 0,252493 | 0,61829558 | 0,4197491 | 0,31259894 | 0,2199 | 1 |
| 6 | 0,898 | 15811889,1 | 0,974327 | 3,50849E+13 | 0,603772 | 3,7695224 | 0,260678 | 222,717669 | 0,380508 | 0,72152785 | 0,0991967 | 1,73432757 | 0,6352 | 1 |
| 7 | 0,15653 | 14109942,5 | 0,251399 | 1,75913E+13 | 0,955837 | 3,931222 | 0,0654306 | 141,819144 | 0,454629 | 0,64386465 | 0,0204752 | 0,49009551 | 0,2058 | 1 |
| 8 | 0,41927 | 14689140,7 | 0,902843 | 2,24497E+13 | 0,054971 | 3,5606537 | 0,6149388 | 166,333057 | 0,890495 | 0,67029462 | 0,5965322 | 0,76588104 | 0,598 | 1 |
| 9 | 0,88291 | 15748347,7 | 0,675253 | 3,42389E+13 | 0,309608 | 3,684241 | 0,0668583 | 219,191526 | 0,23623 | 0,71862833 | 0,4619189 | 1,65853541 | 0,9061 | 1 |
| 10 | 0,96629 | 16259429,2 | 0,470621 | 4,1553E+13 | 0,843136 | 3,8530336 | 0,9902726 | 248,768948 | 0,527873 | 0,74194999 | 0,4569943 | 2,36399238 | 0,0001 | 1 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 49990 | 0,50953 | 14857184,2 | 0,636571 | 2,40523E+13 | 0,741285 | 3,8126285 | 0,7317575 | 174,003434 | 0,184618 | 0,67796277 | 0,5033649 | 0,86892585 | 0,4027 | 1 |
| 49991 | 0,73437 | 15311038 | 0,254599 | 2,88654E+13 | 0,682849 | 3,7933713 | 0,077558 | 196,042826 | 0,309935 | 0,69867302 | 0,9481709 | 1,21339485 | 0,4994 | 1 |
| 49992 | 0,35123 | 14558887 | 0,172939 | 2,12696E+13 | 0,614054 | 3,772527 | 0,7740406 | 160,563783 | 0,349814 | 0,66435088 | 0,7979883 | 0,6938011 | 0,4015 | 1 |
| 49993 | 0,30169 | 14459174,7 | 0,152718 | 2,04017E+13 | 0,21374 | 3,6509681 | 0,8999716 | 156,249417 | 0,656088 | 0,65980081 | 0,4431392 | 0,6428558 | 0,4663 | 1 |
| 49994 | 0,57446 | 14979336,6 | 0,99998 | 2,52764E+13 | 0,447851 | 3,7252915 | 0,5704859 | 179,742866 | 0,850083 | 0,68353683 | 0,5954962 | 0,95157956 | 0,5557 | 1 |
| 49995 | 0,07544 | 13811665,9 | 0,882755 | 1,54542E+13 | 0,633259 | 3,7782037 | 0,7821679 | 130,304231 | 0,455427 | 0,6302537 | 0,0559542 | 0,38664102 | 0,2625 | 1 |
| 49996 | 0,8428 | 15604528,5 | 0,535629 | 3,23866E+13 | 0,343504 | 3,6947924 | 0,8334741 | 211,364739 | 0,408607 | 0,71206558 | 0,936231 | 1,49799284 | 0,8199 | 1 |
| 49997 | 0,21133 | 14256668,2 | 0,411791 | 1,87298E+13 | 0,37609 | 3,704571 | 0,1977789 | 147,754678 | 0,210533 | 0,65056004 | 0,8478188 | 0,54971569 | 0,3826 | 1 |
| 49998 | 0,13749 | 14051661,2 | 0,013036 | 1,71554E+13 | 0,942393 | 3,9167358 | 0,7001387 | 139,511658 | 0,270188 | 0,64120516 | 0,7149558 | 0,4680936 | 0,2151 | 1 |
| 49999 | 0,50892 | 14856060,5 | 0,882893 | 2,40413E+13 | 0,977914 | 3,9657981 | 0,7445659 | 173,951282 | 0,681993 | 0,6779115 | 0,490057 | 0,86819684 | 0,0875 | 1 |
| 50000 | 0,47957 | 14801521,2 | 0,254152 | 2,35112E+13 | 0,506052 | 3,7417022 | 0,2262662 | 171,434013 | 0,304825 | 0,67542276 | 0,6467886 | 0,83347497 | 0,488 | 1 |

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Riskiyya Rahmawati, anak ketiga dari tiga bersaudara ini lahir di Lumajang pada tanggal 14 April 1995. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Kutorenong 1 Lumajang pada tahun 2007 dan SMP Negeri 1 Lumajang pada tahun 2010. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 10 Malang Sampoerna Academy pada tahun 2013. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4313100138. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di organisasi kemahasiswaan serta kepanitiaan. Penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Bendahara Umum Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Kelautan ITS periode 2015-2016 dan Sekretaris Umum ITS EXPO 2015. Penulis pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT. NOV PROFAB Indonesia selama 2 bulan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan yaitu Perancangan dan Produksi.

Email : riskiyarahmawati95@gmail.com